



Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PROJECTE FI DE CARRERA

TÍTOL: Implementació dels sistemes de navegació del remolcador Amsterdam

AUTOR: Daniel Mata Palliser

TITULACIÓ: Enginyeria Tècnica de Telecomunicacions Especialitat en Sistemes
Electrònics

DIRECTOR: Spartacus Gomáriz Castro

DEPARTAMENT: Ingeniería electrónica (710)

DATA: 28 de juny de 2010

Aquest Projecte té en compte aspectes mediambientals: ☐ Sí ☒ No

PROJECTE FI DE CARRERA

RESUM (màxim 50 línies)

El principal objectiu d'aquest projecte, és la creació d'un sistema de navegació d'un vehicle autònom, un USV (Unmanned Surface Vehicles) un vehicle que opera a la superfície de l'aigua sense tripulació. Per tant, s'haurà de realitzar la implementació de tot el sistema de control electrònic necessari per dotar al vehicle d'una autonomia en la seva navegació, a partir d'una ruta preestablerta.

El vehicle que s'utilitza en el present projecte és una maqueta feta a escala 1:50 d'un remolcador d'altura, el remolcador Amsterdam.

Per tal de realitzar un sistema de navegació i control es necessari incorporar tota una sèrie d'elements capaços d'operar i interactuar conjuntament.

El sistema de control a desenvolupar en aquest projecte ha de ser capaç de gestionar un sistema de navegació, un sistema de propulsió, un sistema de comunicació i un sistema d'alimentació.

El sistema de navegació, estarà dotat de diferents instruments que determinaran la posició i estat del vaixell.

El sistema de propulsió, durà un motor capaç d'actuar convenientment amb les instruccions rebudes a través del control.

Per tal de gestionar aquest control i els diferents sistemes del USV, es necessitarà un sistema de comunicació bidireccional per tal de establir un enllaç entre el vehicle i una estació base, que denominarem estació de seguiment.

També serà necessari dissenyar un sistema d'alimentació que sigui capaç de subministrar tota l'energia necessària per tots els sistemes del vehicle.

Per finalitzar, notà que l'objectiu d'aquest projecte és la implementació de tota l'electrònica així com la realització de tota la programació necessària per dotar el vaixell d'un control tant autònom com manual.

Paraules clau (màxim 10):

USV	Ràdio-Mòdem	Telemetria	GPS
PC104	PWM	Bidireccional	Inclinòmetre

Índex

0. INTRODUCCIÓ	6
1. Introducció als USV	8
1.1. Aplicacions reals	12
1.1.1. Autonomia del USSV per a missions de combat al litoral marítim.....	12
1.1.2. Solució low-cost per millorar la protecció costera.	14
1.1.3. Vehicle marítim autònom de ASV Ltd.....	14
1.1.4. Unmanned Marine Vehicles de CNR-ISSIA.....	16
2. Disseny del sistema del control autònom	17
2.1. Característiques i estructura de la electrònica del vaixell	19
2.2. Característiques de la CPU.....	20
2.2.1. Descripció del PC/104.....	20
2.2.2. Mòdul CPU PC/104 + PM-6100	25
2.2.3. CompactFlash TS32GCF133.	28
2.3. Sistema de navegació	29
2.3.1. Brúixola/inclinòmetre TCM2.6.	29
2.3.1.1. Modes de funcionament.	31
2.3.1.2. Sintaxi de les comandes.	31
2.3.1.3. Dades de sortida del sensor.	33
2.3.1.4. Interpretació de les dades de sortida.....	34
2.3.1.5. Interconnexió.....	35
2.3.2. Receptor GPS DG14 Board.....	36
2.3.2.1. Modes de funcionament	40
2.3.2.2. Sintaxi de les comandes	42
2.3.2.3. Dades d'entrada del sensor.....	44
2.3.2.4. Dades de sortida del sensor	45
2.3.2.5. Interpretació de les dades de sortida.....	45
2.3.2.6. Interconnexió.....	47
2.3.2.7. Antena del receptor GPS Tear Drop GPS Antenna.....	51
2.3.2.8. Interconnexió.....	51
2.3.3. Característiques i funcionament dels servomotors	52
2.3.3.1. Servomotors HS311	52
2.3.3.2. Placa de control de servos SSC32-1.06XE	54
2.3.3.3. Sintaxi de les comandes	54

2.3.3.4.	Interconnexió.....	55
2.4	Sistema de comunicacions	58
2.4.1.	Característiques dels ràdio – mòdems	58
2.4.1.1.	Bandes de freqüència	60
2.4.1.2.	Tolerància de freqüència i seguiment de la portadora.....	60
2.4.1.3.	Potència transmesa i marge dinàmic	61
2.4.1.4.	Equalització.....	61
2.4.1.5.	Efecte multi camí	61
2.4.1.6.	Esquemes de modulació.....	62
2.4.1.7.	Ràdio-mòdems Satel·line-1870	63
2.4.1.8.	Interconnexió.....	65
2.5	Sistema de propulsió	67
2.5.1.	Regulador de velocitat.....	68
2.5.2.	Motor.....	68
2.5.3.	Timó	69
2.6	Sistema elèctric	70
2.6.1.	Bateries.....	70
2.6.2.	Carregador de bateries LIPO.....	71
3.	Implementació de l'electrònica del USV	73
3.1.	Característiques del vaixell	73
3.2.	Estanquitat del vaixell	74
3.3.	Ubicació i connexió de l' instrumentació del USV	75
3.4.	Estudi i requeriments d' alimentació.....	77
3.5.	Ubicació del sistema de potència	81
3.6.	Arrencada del sistema	82
4.	Diseño del software.....	83
4.1.	Entorn de programació seleccionat del vaixell.....	83
4.2.	Entorn de programació seleccionat de l'estació base	85
4.3.	Programa de telemetria.....	87
4.4.	Programa brúixola/inclinòmetre (versió inicial)	88
4.5.	Programa brúixola/inclinòmetre definitiu	91
4.6.	Processament de les dades del receptor GPS	93
4.6.1.	Dades GPS.....	95
4.7.	Representació de coordenades	96
4.8.	Control de motors.....	97
5.	Proves realitzades del sistema	100

5.1.	Prova del sistema de navegació.....	100
5.2.	Proves del GPS.....	101
5.3.	Proves de la brúixola	102
5.4.	Prova del timó	103
5.5.	Prova del motor	105
5.5.1.	Prova amb velocitat lenta	105
5.5.2.	Prova amb velocitat ràpida.....	105
5.5.3.	Prova invertint velocitat	106
6	Conclusions	107
6.1.	Líneas futures de desenvolupament.	108
7	Agraïments	109
8	Bibliografia	110

Introducció

El present projecte té com objectiu el disseny i posada en marxa d'un USV (Unmanned Surface Vehicle) un vehicle que opera a la superfície de l'aigua sense tripulació. D'aquesta manera, s'haurà de realitzar l'implementació de tot el sistema de control electrònic i la seva programació corresponent necessària per dotar al vehicle d'una autonomia en la seva navegació, a partir d'una ruta preestablerta.

El vehicle que s'utilitza en aquest projecte és una maqueta feta a escala 1:50 d'un remolcador d'altura, el remolcador Amsterdam.

El sistema de control a desenvolupar en aquest projecte ha de ser capaç de gestionar un sistema de navegació, al qual estarà dotat de diferents instruments que determinin la posició i estat del vaixell, com també, un sistema de propulsió amb el seu motor corresponent capaç d'actuar convenientment amb les instruccions rebudes a través del control. Per tal de gestionar aquest control es necessitarà un sistema de comunicació bidireccional per tal de establir un enllaç entre el vehicle i una estació base.

No és objectiu d'aquest projecte dissenyar algorismes de navegació, ni un control de seguretat enfront a obstacles.

El desenvolupament d'aquest projecte s'estructura en cinc capítols, a més de la introducció, conclusions i annexos. S'inicia amb una anàlisi del context tecnològic, a continuació es passa al desenvolupament amb una primera fase d'especificació, per després passar a una segona fase de disseny i implementació, i per acabar amb una fase de proves realitzades al sistema.

El primer capítol analitza el context general en què se situa el projecte. S'expliquen, doncs, els diversos criteris seguits a l'hora de dissenyar un USV, els sistemes bàsics que integren aquest tipus de vehicles i les múltiples aplicacions que tenen.

Seguidament, el segon capítol especifica els subsistemes que integren l'arquitectura del USV, a més dels elements electrònics que conformen cada un d'ells. Es defineixen els components escollits i com aquests s'interconnecten entre sí per formar el sistema de control.

El tercer capítol està estretament lligat amb el capítol anterior, ja que tracta de l'implementació i ubicació de l'electrònica del USV, apart de realitzar un estudi dels requeriments d'alimentació que necessita el vehicle. Per tant, detalla la quantitat de bateries i convertidors utilitzats, a més de realitzar un esquema elèctric de tot el sistema.

D'altra banda, en el quart capítol es descriu la programació realitzada dins i fora del vehicle per tal d'accionar tots els elements involucrats en el sistema de navegació, mitjançant una aplicació de telemetria que enviarà les dades dels sistemes de navegació a un altre programari també dissenyat, al qual s'anomenarà estació de seguiment, on es reflectiran les dades enviades.

L'últim capítol, es donarà constància de tot es les proves realitzades, per tal de demostrar un correcte funcionament dels diferents sistemes que s'inclouen en el vaixell.

1.- Introducció als USV

El terme vehicle no tripulat de superfície (USV) es refereix a qualsevol vehicle que opera a la superfície de l'aigua sense tripulació. L' avantatge més important que ofereixen aquests tipus d'embarcacions és l'habilitat que els permet realitzar una àmplia gamma de missions arriscades o perilloses sense posar en risc a cap persona.[1]

Els USVs han estat sotmesos a proves des de la Segona Guerra Mundial. Cada dia, en aquest àmbit s'inicien projectes i s'investiga en noves millores per aconseguir superar els reptes que suposa controlar autònomament una embarcació en un medi tan imprevisible com és l'aigua.[2]

Les seves aplicacions abasten des d'interessos comercials, d'investigació i militars. Com la tecnologia cada cop es desenvolupa més, les oportunitats d'utilitzar aquests sistemes s'amplia.

Pel que fa a la nomenclatura específica del vehicles no tripulats marítims, podem trobar diferents terminologies, les més comunes són:

SIGLAS	DESCRIPCIÓN
USV	Unmanned Sea/Surface Vehicles
USSV	Unmanned Sea Surface Vehicles
ASV	Autonomous Surface Vehicles
UMV	Unmanned Maritime Vehicles
UMSV	Unmanned Maritime Surface Vehicles

Taula 1.1.- Nomenclatura dels Vehicles no tripulats

Podríem dir que físicament ens trobem tot tipus d'embarcacions. Tenim opció de mini vaixell (relatiu a aquest projecte), llanxa, moto aquàtica o caiac. Veure figura 1.1.



Figura 1.1.- Diferents tipus de USV

El sistema de control a desenvolupar en aquests tipus de vehicles ha de ser capaç de gestionar un sistema de navegació, un sistema de propulsió, un sistema de comunicació i un sistema d'alimentació.

El **sistema de navegació**, estarà dotat de diferents instruments que determinaran la posició i estat del vaixell.

Des de fa relativament poc temps existeix la navegació amb GPS, això ha incrementat realment la possibilitat de posicionar els USV així com el control de la seva trajectòria, actualitzar dades i actualitzar l'algoritme de navegació programat periòdicament [3].

Encara que no es un objectiu d'aquest projecte integrar els instruments propis de la missió ni desenvolupar un sistema de seguretat davant de fallades o obstacles, un dels problemes a l'hora de navegar és evitar els obstacles que puguin sorgir. The Coast Guard Collision Regulations (COLREGS) regula la normativa anticol·lisió. S'han realitzat nombrosos estudis i experiments per a evitar obstacles. La figura següent mostra un experiment de camp amb dos caiacs autònoms per verificar el compliment del reglament COLREGS.

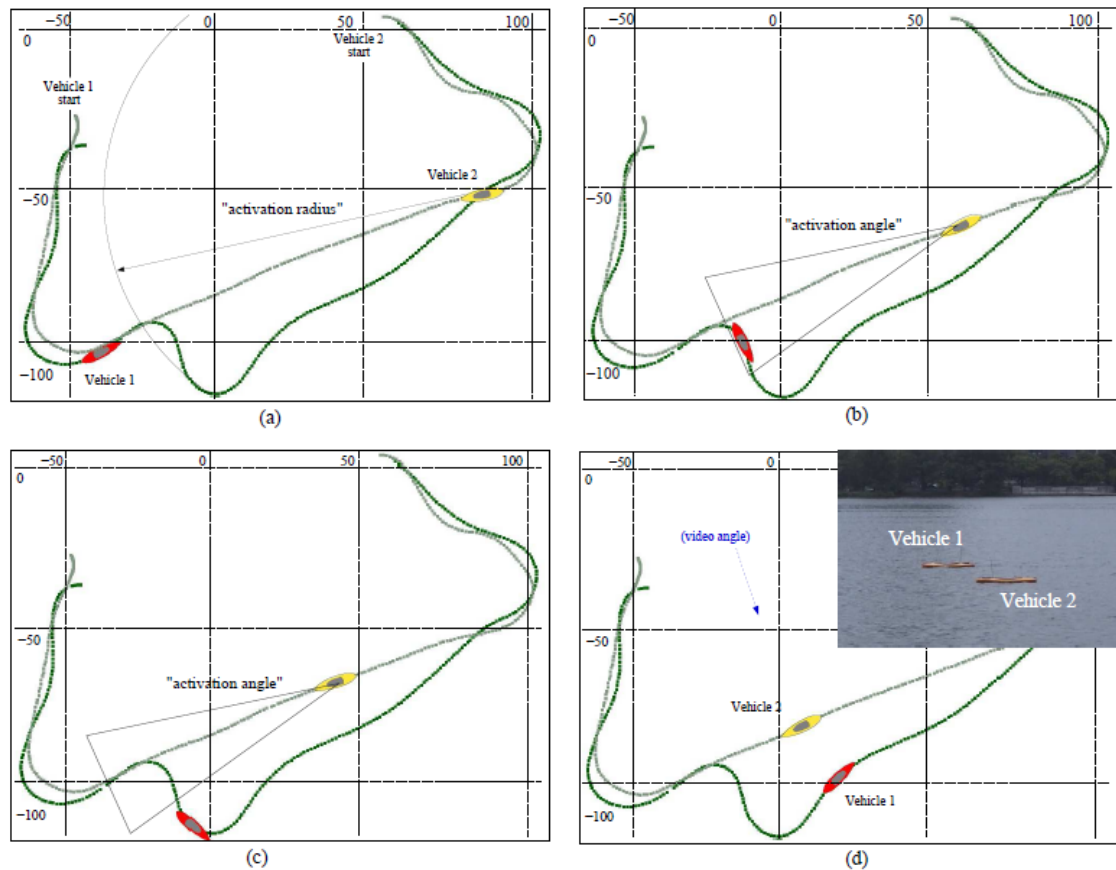


Figura 1.2.- Experiment anticol·lisió

La ruta dels vehicles 1 i 2 fa que es disposin a una col·lisió frontal. El vehicle 1 té activat el programa anticol·lisió mentre que el vehicle 2 no fa cap intent d'evasió de col·lisió amb el vehicle 1 i segueix la seva ruta preprogramada. Quant el vehicle 1 entra dins de l'angle d'activació, realitza una maniobra evasiva per poder esquivar al vehicle 2 i impedir la col·lisió. [4].

Aquests sistemes no poden funcionar de manera independent sense un arranjament de sensors i algorismes per interpretar el seu entorn i guiar els seus moviments. En missions de vigilància el Genex OmniEye ofereix una visió de 360 graus. La cobertura contínua d'àrea àmplia permet als usuaris detectar una amenaça de qualsevol direcció sense una càmera panoràmica o un control amb desenes de senyals de vídeo. La penetració d'un perímetre és extremadament difícil amb sensors que veuen en totes direccions. Quan es combina amb la plataforma de Genex de processament d'alta velocitat i algorismes, el camp de visió es converteix en una poderosa eina per rastrejar objectes a terra o al mar. La família de sensors OmniEye d'àrea àmplia és la solució rendible per aplicacions com ara la protecció d'infraestructures, control de fronteres, la protecció portuària, protecció de forces militars, i vehicles no tripulats.[5]

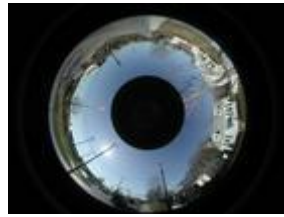


Figura 1.3.- OmniEye

El **sistema de propulsió**, durà un motor capaç d'actuar convenientment amb les instruccions rebudes a través del control. Depenent del tipus d'embarcació el motor serà elèctric, diesel, gasolina o híbrid. Però els components d'aquest sistema són comuns a tots ells: motor, eix de transmissió i hèlix.[6]



Figura 1.4.- Motor elèctric

Per tal de gestionar aquest control i els diferents sistemes del USV, es necessitarà un **sistema de comunicació** bidireccional per tal de establir un enllaç entre el vehicle i una estació base. Aquestes comunicacions normalment estan basades en ones electromagnètiques, produïdes generalment per ràdio-mòdems.

Pel que fa al **sistema d'alimentació**, quant parlem de l'autonomia podríem dir que aquest és un punt clau perquè la limitació d'aquesta ens redueix les possibles aplicacions a dur a terme.

L'opció més utilitzada són les bateries de Níquel, Liti o Zinc, sent aquest últim el més car de tots els sistemes i també el més versàtil. Els recents avenços en electricitat ens porten nous materials com el NiMH, el més corrent des de finals dels 80, encara que també hi ha altres

possibles solucions tecnològiques amb alumini o "cèl·lules d'oxigen", l'únic sistema que aguanta baixes temperatures, així com les del Àrtic. [7]

Els últims estudis, tenen en compte el desenvolupament en energies alternatives com és l'energia solar. En la figura següent trobem un USV on la font d'alimentació ve donada per un pac de quatre bateries i integrat en un conjunt de panells solars per abastir els pics d'energia i augmentar l'autonomia del sistema. [8]



Figura 1.5.- USV solar

1.1.- Aplicacions reals

1.1.1.- Autonomia del USSV per a missions de combat al litoral marítim.

Possibles aplicacions dels combats navals inclouen la identificació d'objectius, de reconeixement i vigilància de les missions. La Naval Surface Warfare Center, Carderock Division (NSWCCD), ha estat encarregat per l'Oficina de Recerca Naval (ONR) per dissenyar un vehicle no tripulat de superfície marítima (USSV). NSWCCD està considerant la tecnologia de l'autonomia de comandament del Jet Propulsion Laboratory (JPL).

L'objectiu és donar suport al Littoral Combat Ship (LCS) per a les seves operacions utilitzant tecnologies de l'autonomia del JPL, que inclou l'arquitectura de control híbrid Caracas (Control Architecture for Robotic Agent Control and Sensing) amb les tecnologies de visió artificial per evitar riscos i detecció d'objectes, i incorporant, les operacions en temps real per control electrònic. L'objectiu d'aquest projecte és desenvolupar i demostrar els comportaments i capacitats avançades per a la missió d'intel·ligència a nivell de control autònom i el funcionament de llarga durada d'un USSV per al suport de LCS. [9]



Figura 1.6.- ONR USSV 1

Oportunitats de recerca: Els programes actuals de la ONR es centren en el desenvolupament del nivell d'autonomia, les maniobres guiades. El timoner d'un vaixell tripulat veu i s'anticipa a les ones i l'embarcació navega en conseqüència. Els existents sistemes autònoms USV de control encara no tenen un coneixement de les ones. [10]



Figura 1.7.- ONR USSV 2

1.1.2. Solució low-cost per millorar la protecció costera.

Els Ports poden ser considerats un dels objectius més atractius per a les amenaces terroristes. Tenint en compte que els vaixells petits o comandos de natació no poden ser fàcilment seguits pels vigilància terrestre i que en el lloc de vigilància, mitjançant la dotació vaixells tripulats, és bastant car i difícil ocultar-se als ulls enemics, l'interès pels vehicles no tripulats (USVs) és molt clar. Els USV's poden ser d'un o dos metres de llarg, equipats amb sensors de vigilància adequada. Si l'estat de la tecnologia més avançada es té en compte, l'USV també pot ser pensat com a vehicles de baix cost. [11]

1.1.3.- Vehicle marítim autònom de ASV Ltd

ASV Ltd dissenya i construeix sistemes de vehicles no tripulats marítims. S'utilitza tant en aplicacions comercials com militars, aquestes embarcacions són particularment efectives per a les operacions que consumeixen molt de temps o perilloses, com la vigilància, estudis hidrogràfics, entrenament de tir i la caça de mines.

El Fast Marine Target Drones (FMTD) System està dissenyat i construït per a l'entrenament personal naval per combatre l'amenaça de ser atacats per diversos vehicles d'atac ràpid al litoral.

La nau està dissenyada per permetre una avaluació ràpida dels danys, la facilitat de reparació i un baix impacte ambiental en la seva eliminació. El sistema de control preveu diversos vehicles, les operacions d'aproximació amb bon coneixement de la situació, i s'ha utilitzat fins a un radi de 10 km.



Figura 1.8.- ASV USSV

Han estat lliurats lots de Multi-vehicle ASV FMTD pel Ministeri de Defensa del Regne Unit durant el 2007/08. La figura següent ens mostra els vehicles.



Figura 1.9.- ASV lots UK

ASV Ltd ha llançat recentment el comandament i control, ASView. Aquest sistema modular i ampliable ja ha estat emprat en la FMTD i projectes FGT. Servirà de base per a futurs sistemes de vehicles no tripulats de control de projectes i es poden integrar amb el sistema de tercers. [12]



Figura 1.10.- Software ASView de Control y Seguimiento

1.1.4.- Unmanned Marine Vehicles de CNR-ISSIA

Els Unmanned Surface Vehicles (USVs) desenvolupats per CNR-ISSIA a Itàlia són específics per a aplicacions científiques. Aquests són vaixells autònoms o controlats a distància/supervisió connectats amb l'estació d'operació a través d'un enllaç wireless. S'utilitzen per mapes hidrogràfics, per a la detecció de la contaminació, per l'estudi de la interfície entre mar-aire i per a operacions de contramesures de mines.

Com a exemple tenim el USV Charlie que va ser originalment dissenyat per a la recollida de mostres de la superfície del mar i la microcapa immediata subsuperficial per a l'estudi de la interfície mar-aire a l'Antàrtida. Aquesta aplicació requereix un vehicle capaç tant de moure's a una velocitat relativament alta de creuer per anar i venir de l'àrea de mostreig com maniobrar amb un avanç de velocitat d'uns pocs centímetres per segon respecte a l'aigua mentre fa la recollida de mostres. També ha de tindre l'espai necessari per al dispositiu de recollida de mostres. Tots aquests requisits fan que el disseny òptim sigui un catamarà, com podeu veure a la figura següent.[8]

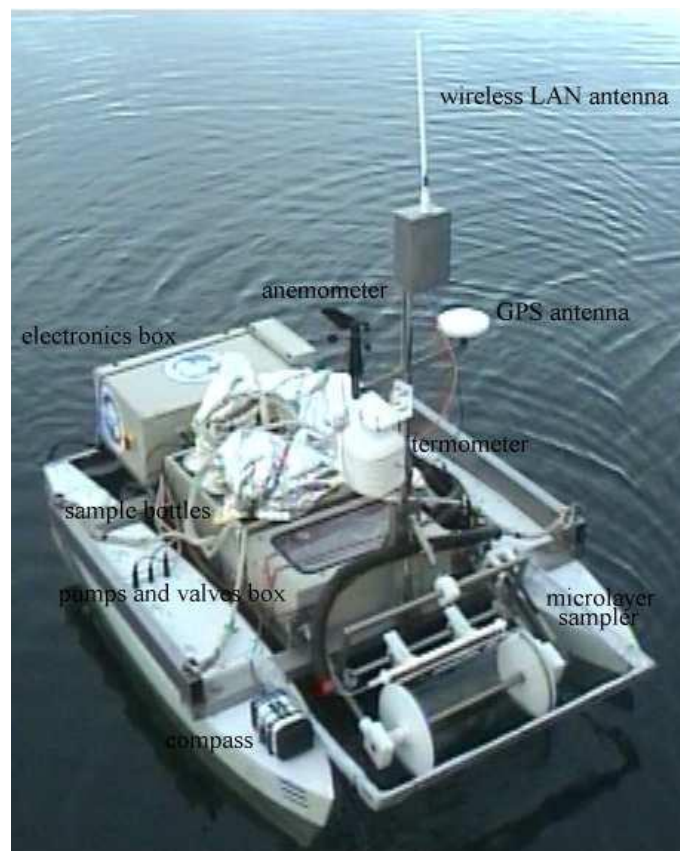


Figura 1.11.- Distribució de components del USV Charlie

2.- Disseny del sistema del control autònom

En aquest capítol s'explicarà detalladament el funcionament i les característiques dels diferents dispositius encarregats de realitzar el control autònom del vaixell:

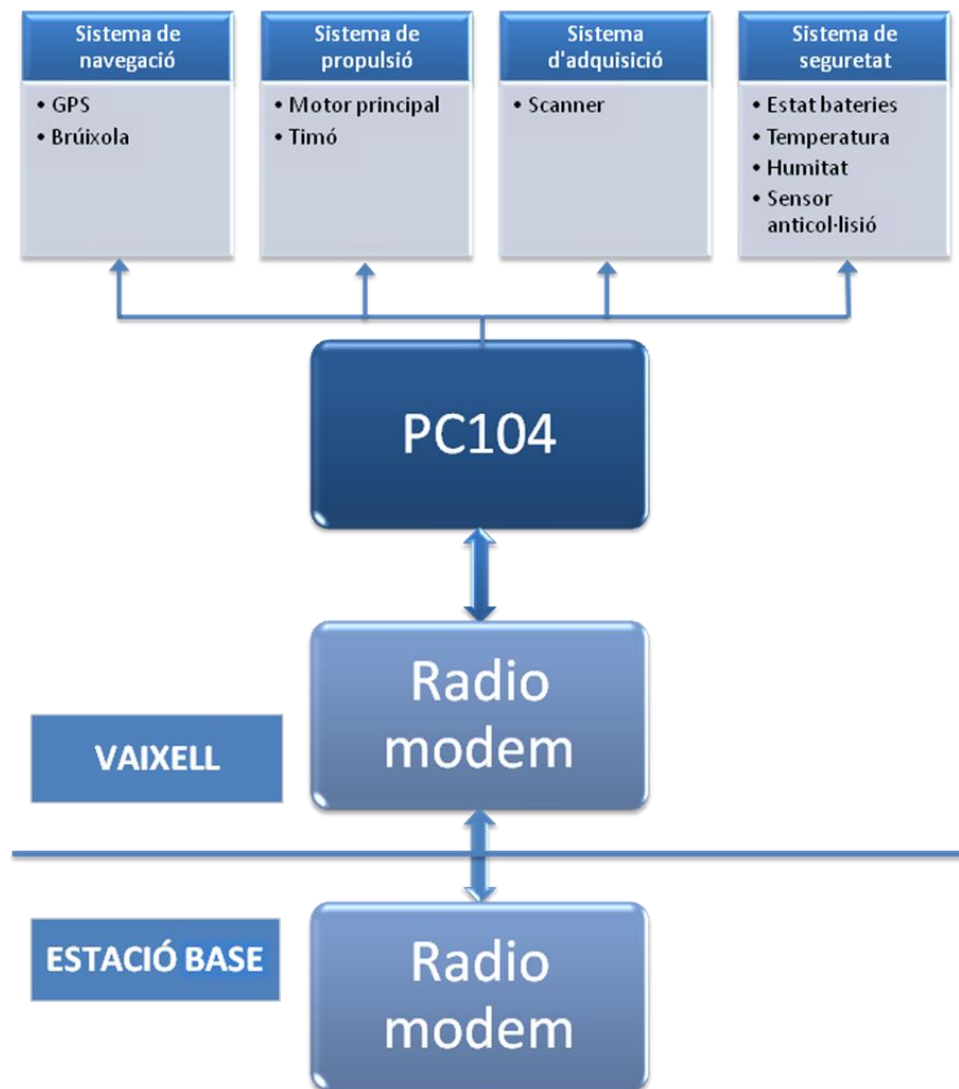


Figura 2.1.- Diagrama de blocs del sistema de control autònom

Com es pot observar en el gràfic anterior, el sistema de control es pot separar en 4 parts diferents:

- Sistema de navegació
- Sistema de propulsió
- Sistema d'adquisició
- Sistema de seguretat

En primer lloc, el sistema de navegació, inclou la brúixola (inclinòmetre) i el GPS. Aquests dos elements s'encarregaran, junt amb el PC 104, d'administrar-nos les dades necessàries per tal de conèixer en cada moment, i amb total precisió l' ubicació, el rumb, l' inclinació i el balanceig.

El següent punt, el sistema de propulsió, inclou un motor i un timó, així com els sistemes de funcionament auxiliars anomenats drivers. Posteriorment s'explicaran amb detall tots aquests dispositius.

Els dos últims punts no formen part d'aquest projecte, però seria de necessària implementació en cas de voler dur a terme aquest projecte a un nivell més elevat. El sistema d'adquisició, encarregat de subministrar les dades necessàries per tenir una completa informació de la posició del vaixell. I el sistema de seguretat, el qual s'encarregaria d'evitar cops o simplement desperfectes en el cas del vaixell.

Un cop explicats els quatre mòduls principals del sistema de control, es pot deduir que és necessari un element que s'encarregui de realitzar la gestió entre els diferents elements. Aquesta electrònica s'anomena PC104, i es capaç d'analitzar ordres externes o accionar elements interns del vaixell. Que malgrat les seves dimensions es equivalent, en potència, a un PC de sobre taula convencional.

Per tal d'executar les ordres rebudes des de la CPU, i crear un enllaç entre el control i l'activació, es necessita un hardware capaç d'entendre e interpretar els diferents senyals i transmetre'ls a la part mecànica del vaixell. El sistema, es una placa de control de servos, que s'encarregaran d'enviar les senyals tant al regulador de velocitat, com al timó.

Per últim es necessitarà un sistema que permeti interactuar directament amb el vaixell, es a dir, un emissor - receptor de tot el conjunt. El qual permetrà establir un punt de control i recollida de dades. Aquest bloc el constitueixen, dos antenes i dos ràdio-mòdems, sent aquests últims els encarregats de convertir els senyals de l'espectre radioelèctric, en senyals que poden interpretar tant la CPU del vaixell, com la CPU de l'estació base.

En el diagrama següent es pot observar la part que s'ha dut a terme en aquest projecte, deixant per un futur projecte els sistemes de seguretat i d'adquisició.

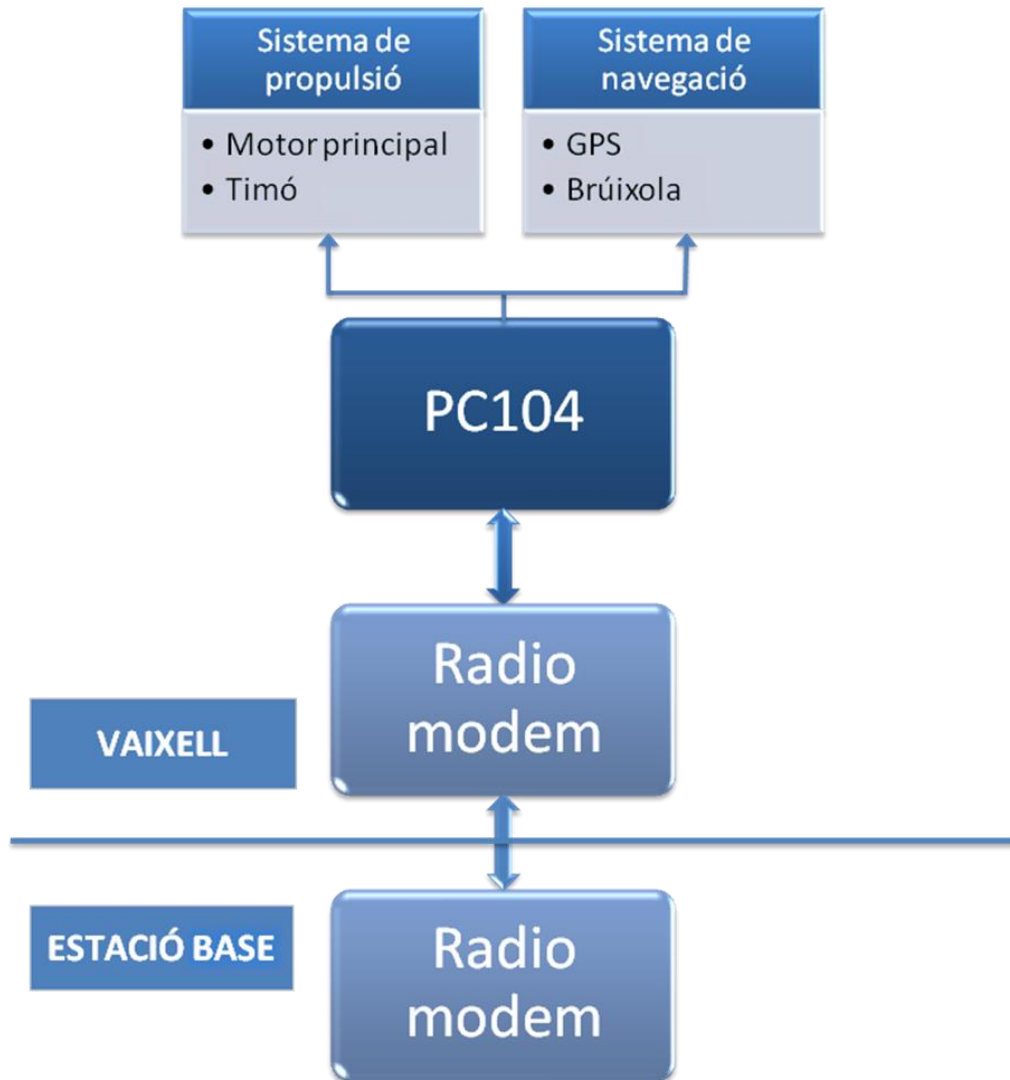


Figura 2.2.- Diagrama de blocs del control autònom proposat

2.1.- Característiques i estructura de la electrònica del vaixell

En els següents subapartats, s'anirà descrivint un a un els diferents components necessaris per implementar tota l'electrònica del vaixell, separats segons al sistema al qual pertanyen, Sistema

de navegació, Sistema de comunicació, Sistema de propulsió i Sistema de potència. Començant primer per l'element que s'encarrega d'interactuar entre els diferents sistemes.

2.2.- Característiques de la CPU

2.2.1.- Descripció del PC/104

El nom de PC/104, ve donat per la seva arquitectura de PC i del connector principal de 104 pins. Gràcies a la tecnologia PC/104, enginyers e informàtics poden fer ús dels seus coneixements en hardware i software per dissenyar diverses aplicacions per aquest tipus de sistemes.

El PC/104 tan sols es una versió d'una arquitectura PC per aplicacions encastades e industrials, on l'espai, el consum d'energia i la viabilitat són factors crítics.

D'altra banda presenta algunes diferències en quant als sistemes PC convencionals, algunes de les quals, s'exposen a continuació:

- El consum d'energia es molt més reduït, 1 o 2 W per mòdul.
- Les targetes PC/104 (90 x 96 mm) són de dimensions reduïdes si les comparem amb les targetes ISA. S'apilen una sobre l'altre mitjançant connectors pin/socket. D'aquesta manera és prescindible l' utilització d'una placa base.
- Els sistemes PC/104 estan dissenyats per ser més robustos que els sistemes PC.

Per tal de programar aquest tipus de sistema, s'utilitzen les mateixes eines de programació que en els PC convencionals, com per exemple: compiladors, depuradors, API's, sistemes operatius, etc. D'aquesta manera ens estalviem la necessitat d'aprendre coneixements específics pel sistema.

Existeixen diferents mòduls disponibles per ampliar les aplicacions de la placa PC/104, alguns d'ells són:

- Targetes CPU compatibles amb PC
- Red: Ethernet, CAN bus, ARCNET
- Vídeo : VGA, LCD, EL, Frame Grabbers
- Controladors: FDD, IDE HDD, SCSI

Les especificacions elèctriques i mecàniques d'aquests mòduls permeten que siguin compatibles i, per tant, intercanviables amb productes de qualsevol fabricant que utilitzi PC/104 com estàndard.

A l'hora d'utilitzar els mòduls es tenen diverses alternatives:

- Es pot utilitzar com un sistema independent (stand alone)
- Es pot afegir com part d'un altre sistema
- Diversos mòduls es poden apilar per crear un sistema

Una de les característiques clau del PC/104 es el seu connector (pin/socket). Cada connector està dissenyat de tal manera que permet apilar diversos mòduls. Això permet una major capacitat d'ampliació.

Dins de les especificacions del PC/104 existeixen dues versions: 8 bits i 16 bits, les quals corresponen a implementació PC i PC/AT. En el mercat actual, es difícil trobar versions de 8 bits, ja que les que tenen una major demanda són les de 16 bits. Tot i això, degut a la demanda de sistemes que ofereixen un major rendiment, ha sorgit una ampliació del estàndard, coneguda amb el nom de PC/104 plus.

Les senyals del bus PC/104 són idèntiques a les del estàndard ISA. El bus P1 conté 64 pins i es combinen amb 40 pins del bus P2 ($64 + 40 = 104$). La corrent de les senyals és de tan sols 4mA, d'aquesta manera es redueix el consum d'energia i la dissipació de la calor.

Independentment, si el host es una targeta PC/104, STD bus, compact PCI, VME, ISA o PCI, es poden apilar un total de 4 mòduls. El nombre màxim de mòduls del PC/104 plus és exactament el mateix.

L'extensió del estàndard PC/104 Plus es diferencia bàsicament del PC/104 en que el primer conté un bus PCI (Peripheral Component Interconnect). Aquest bus permet un accés directe dels dispositius perifèrics a la CPU, amb el que es pot millorar de forma considerable el rendiment del sistema.

El fet d'utilitzar un sistema que utilitzi aquest estàndard és principalment per raons d'espai i temps. Es necessita un sistema suficientment potent com per a que permeti processar tota l'informació que s'enviarà dels diferents dispositius del vaixell.

La realització d'aquests càlculs també es podrien fer amb un PC convencional, però no seria tan viable col·locar-lo dins del vaixell.

Per fer-nos una idea de la flexibilitat i estalvi que suposa un sistema PC/104 es pot observar la següent il·lustració on apareixen tres mòduls apilats amb les dimensions del conjunt:

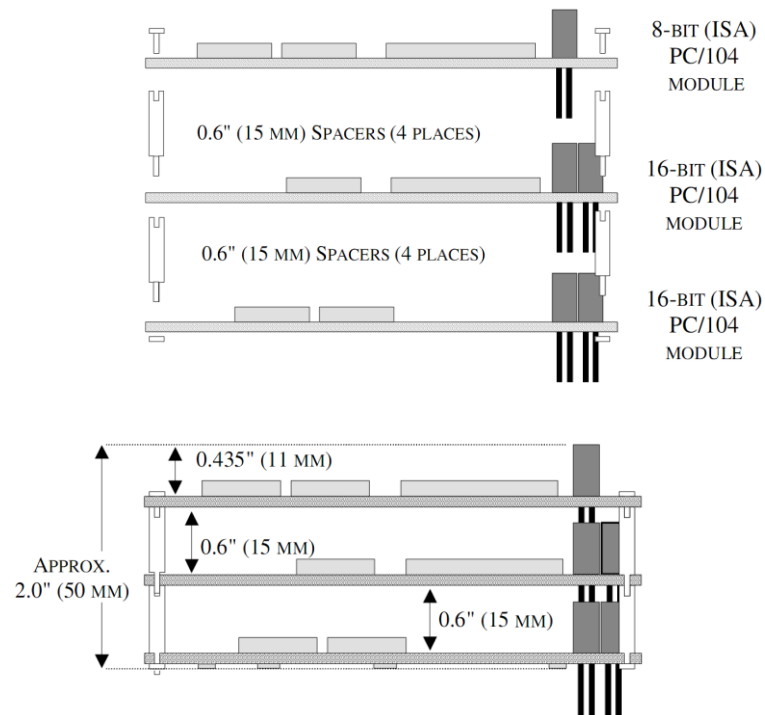


Figura 2.3.- Configuració modular PC/104

A continuació s'ensenyen quines són les dimensions de la placa amb les seves dues possibles versions, 8 bits i 16 bits.

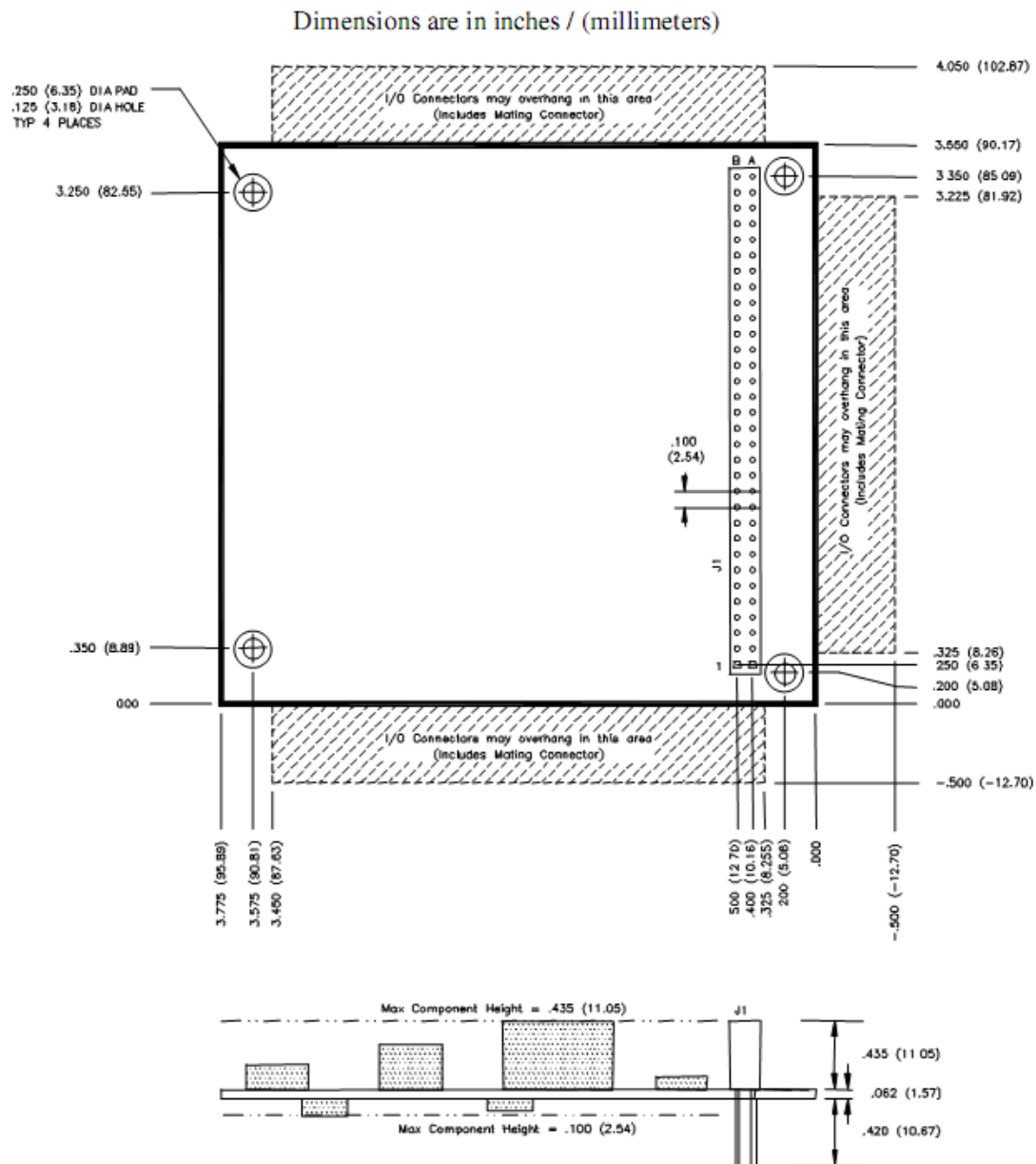


Figura 2.4.- Dimensions del mòdul PC/104 8 bits

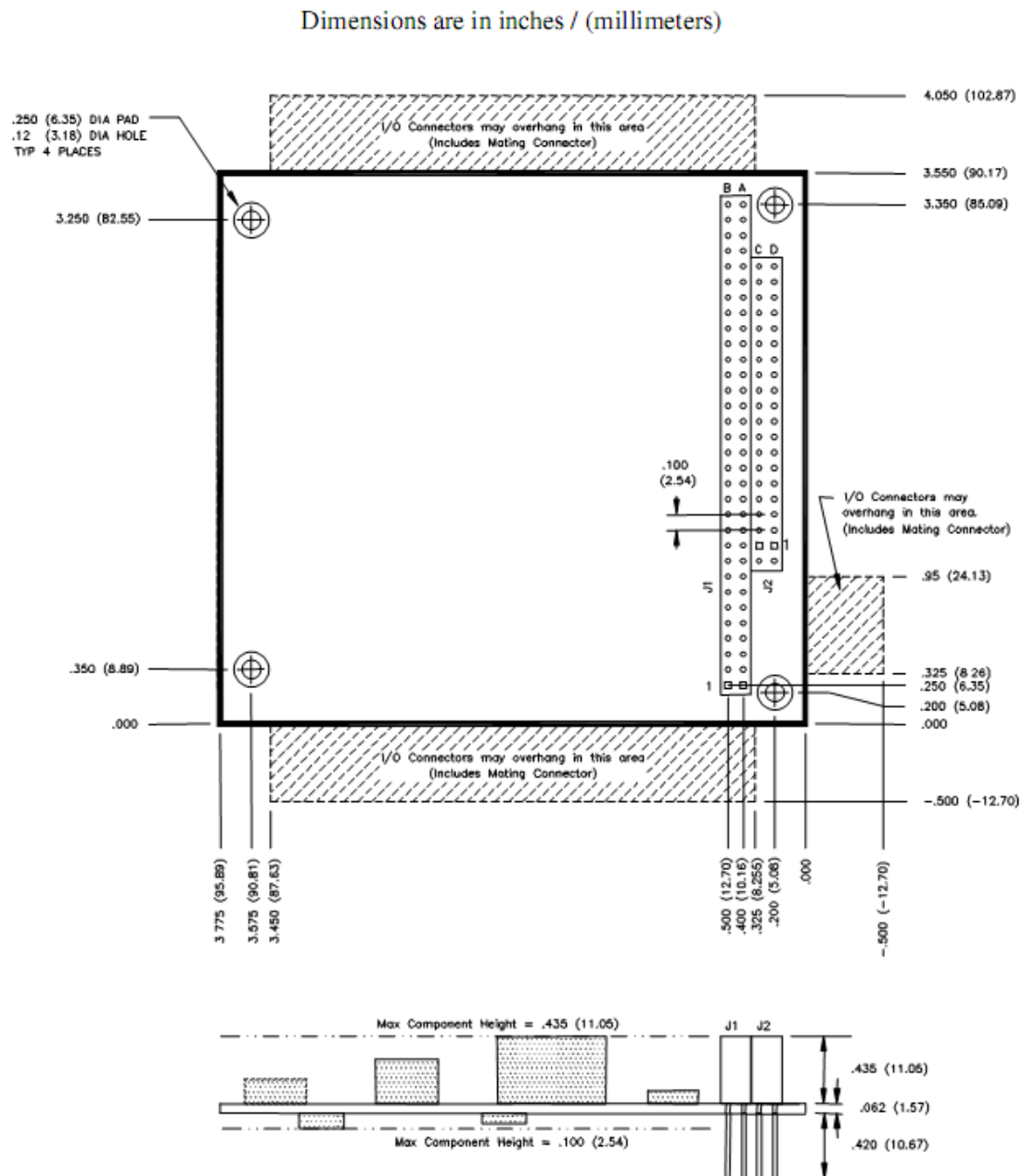


Figura 2.5.- Dimensions del mòdul PC/104 16 bits

Els requeriments de l'alimentació general dels mòduls també venen estipulats en l'estàndard. Es poden veure en la taula següent:

Tensió nominal	Tensió màxima	Tensió mínima	Corrent màxima
+12 V	+12.6 V	+11.4 V	1.0 A
+5 V	+5.25 V	+4.75 V	2 A
-5 V	-4.75 V	-5.25 V	0.2 A
-12 V	-11.4 V	-12.6 V	0.3 A

Taula 2.1.- Requeriments d'alimentació del mòdul PC/104

Els models esmentats anteriorment pertanyen a la versió 1.4 del estàndard creat per el PC/104 Embedded Consortium l'abril del 2001. Dos anys més tard apareix l'última versió, coneguda com PC/104 Plus (2.0). Existeixen diferències entre les dues versions, les quals es resumeixen a continuació:

- La part superior del component s'ha reduït de 0,435" a 0,345" i la part inferior s'ha augmentat de 0,100" a 0,190" amb el propòsit d'augmentar la flexibilitat del mòdul.
- S'ha incorporat un bus PCI.
- S'ha afegit control lògic per manejar l'alta velocitat que requereix el bus.

Per altre banda, els requeriments d'alimentació són molt similars als esmentats anteriorment, amb l'excepció de que s'ha afegit l'opció de poder alimentar a 3,3V possibles mòduls adjacents.

2.2.2.- Mòdul CPU PC/104 + PM-6100

El model de la placa finalment escollit és la PM-6100 PC/104+ , a continuació es descriuen les característiques més importants.

El cervell del sistema electrònic encarregat de recollir les dades provinents dels sensors, realitzar els càlculs necessaris i donar les ordres pertinents als diferents sistemes del vaixell, és una CPU AMD Geode LX800. El microprocessador té una freqüència de rellotge de 500 Mhz, si la comparem amb les prestacions que presenten actualment els ordinadors actuals pot semblar baixa. Tot i això, tenint en compte la limitació d'espai i l'aplicació que es durà a terme, aquest tipus de placa és totalment convenient. A més a més, el seu baix consum i la seva baixa dissipació de calor també afavoreix la col·locació en espais reduïts.

Els sistemes operatius compatibles amb aquest mòdul PC/104 son varis: DOS, Linux, RTLinux, QNX, Windows 98/NT/XP/2000, Windows CE.Net i Vx Works. Això permet una major flexibilitat a l'hora d'escollir l'entorn de programació.

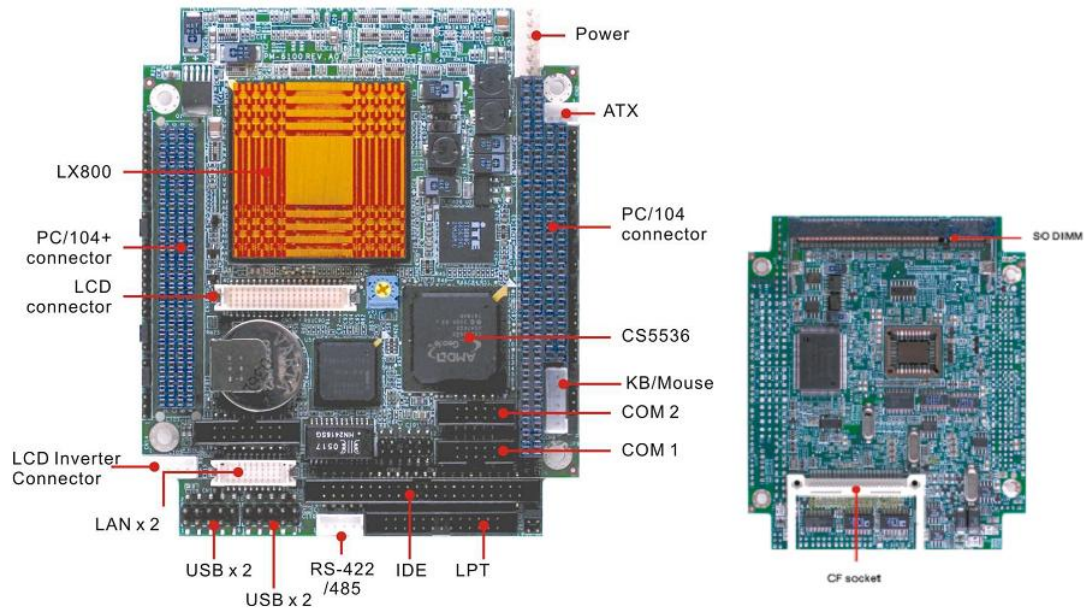


Figura 2.6.- Mòdul PM-6100 PC/104+

Amb el mòdul PM-6100 PC/104+ s'inclouen diferents cables que ens permeten connectar nombrosos perifèrics amb els seus respectius connectors estàndards.

- 4 USB 2.0 (2 connectors externs i 2 directes a la placa)
- Ports RS-232
- Ports RS-232/422/485
- Port per al·lel que suporta SPP/ECP/EPP
- Connector VGA
- Connector PS/2 per el teclat
- Port Ethernet 10/100Mbps
- Connector per CompactFlash



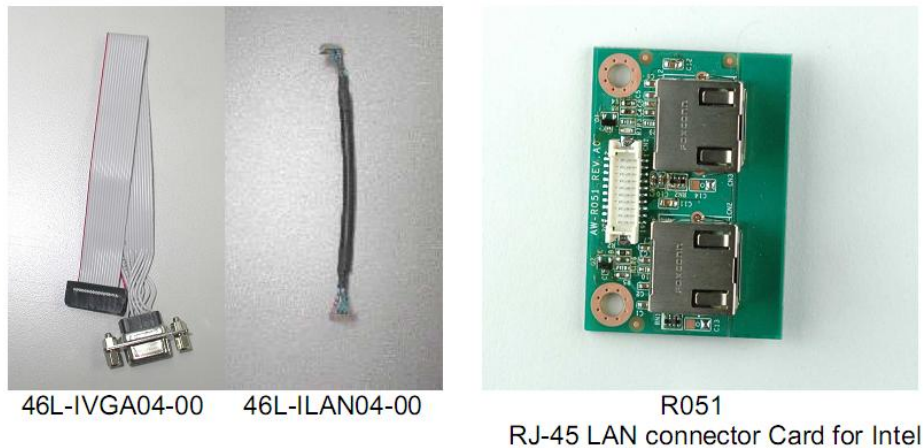


Figura 2.7.- Cables subministrats amb el mòdul PM-6100 PC/104+

Estàndard	Descripció del cable
46L-IPCIDC-00	Cable IDE (45cm)
46L-ICOM01-00	Cable port COM 13 cm (2mm)/RoHS
46L-IPOW37-00	Cable alimentació ATX
46L-IPS266-00	Cable 6+6 KB/MS 17cm (2mm)
46L-IUSB01-00	Cables USB 25cm
46L-IVGA04-00	Cable VGA (2mm)
46L-ILAN04-00	Cable LAN 20cm per a R051
R051	Connector RJ-45 LAN

Taula 2.2.- Descripció dels cables del mòdul PM-6100 PC/104+

La següent taula presenta el resum de les característiques del mòdul PM-6100:

Especificacions PM-6100	
Funcions generals	
CPU	AMD Geode LX800 processor
BIOS	Insyde® 512KB Flash BIOS
Chipset	AMD CS5536
I/O Chipset	Winbond 83627HG
Memòria	200-pin DDR SO-DIMM socket fins 1GB DDR 333/400 Memòria
Connector IDE	Suporta dispositius Ultra ATA-66 IDE
Port per al·lel	Suporta SPP/ECP/EPP
Port sèrie	Un RS-232 y un RS-232/422/485
IR	IrDA Tx/Rx header
Connector KB/Mouse	keyboard/ mouse pin-header
USB connectors	USB 2.0 ports (dos en connectors externs, dos a través de pins interns)
Bateria	Bateria de liti per retenció de dades fins 10 anys (en condicions normals)
Watchdog Timer	Software programable, nivell 1-255
Connector PC/104+	connectors PC/104+ per a PCI y ISA
Sistema d'alimentació	APM 1.2 compliant
Flat Panel/CRT Interface	
VGA Chipset	AMD Geode LX-800
Display memory	Share system memory 2~254MB
Display type	Simultaneous supports CRT and 24-bit TFT LCD
Resolution	CRT Resolution 1920 x 1440 @ 32bpp or 1660

	x1200 @ 32bpp CRT & LCD simultaneous: fins 1024 x 768 @ 18bpp (60Hz)
Ethernet Interface	
Chipset	Dual Intel 82551ER
Ethernet interface	Controlador PCI 100/10 Mbps Ethernet
SSD Interface	50-pin CompactFlash™ socket
Adaptador de so (opcional)	
Chipset	Codec opcional AC 97
Controlador d'audio	SouindBlaster Pro Hardware and Direct Sound Ready AC97 Digital Audio
Audio interface	Sortida per a micro i altaveu
Software Driver	Suport per Windows 95, Windows 98 y windows NT
Especificacions mecàniques	
Tensió d'alimentació	VCC (4.75V a 5.25V),
Màxima potència requerida	+5 V @ 2.2A,
Rang de temperatura	32 a 140°F (0 a 60°C)
Dimensions	95.9mm x 115.6mm
Pes	0.6 lb. (0.3 Kg) Pes net

Taula 2.3.- Característiques del mòdul PM-6100

2.2.3.- CompactFlash TS32GCF133

Per a les proves que s'han realitzat en el laboratori s'ha necessitat instal·lar i configurar un sistema operatiu en un disc dur IDE corrent. Al ser aquest un dispositiu molt conegut per nosaltres, s'assegurava estalviar temps i començar a programar com més aviat millor. Però és obvi que es necessita un dispositiu capaç d'emmagatzemar un S.O. i amb unes prestacions adequades per garantir un funcionament àgil d'aquest, a més de ser compatible amb l'estàndard PC/104+. La solució la trobem en les CompactFlash. L'altre opció era l' utilització d'un disc dur convencional, però degut als moviments i possibles cops en el casc del vaixell, per tal de garantir la robustesa, es va optar per una Compact Flash.

CompactFlash (CF) és un dispositiu d'emmagatzematge de dades que utilitza memòria flash basada en tecnologia NAND. Apareix pel dispositiu host com si anés un disc dur d'una grandària definida i té un diminut controlador IDE integrat en la mateixa CF. Actualment ofereix una velocitat de transferència de dades de fins a 66 MB/s, aquest paràmetre varia en funció de l'estàndard CF (CF, CF+ o CF 3.0). De totes les seves característiques cal destacar la seva mida reduïda i capacitat d'emmagatzematge (fins a 128 GBytes).

Finalment es decanta per l'ús d'una CompactFlash degut al seu baix pes, i compatibilitat amb l'estàndard PC/104+. El model de la CF és una TS32GCF133 [13] de la casa Transcend amb una capacitat de 32 GB. A continuació es resumeixen les seves principals característiques:

Alimentació	3.3 V / 5 V
Capacitat	32 GB
Connector	50 pins
Velocitat de transferència	Lectura - 20MB/s Escriptura - 10MB/s
Pes	11.4 g
Dimensions	42.8 x 36.4 x 3.3 mm
Rang de temperatura	-25°C a 85°C

Taula 2.4.- Característiques de la CompactFlash TS32GCF133 de *Transcend*



Figura 2.8.- CompactFlash TS32GCF133 de *Transcend*

2.3.- Sistema de navegació

2.3.1.- Brúixola/inclinòmetre TCM2.6

La brúixola és un instrument que serveix per a orientar-se i, per tant, és un element de navegació imprescindible que permet conèixer el rumb que duu el vaixell. La seleccionada per a formar part del sistema és la brúixola electrònica TCM2.6 [14], de la casa PNI Corporation.

La TCM2.6 integra un sensor de detecció del camp magnètic de 3 eixos, un sensor d'inclinació de 2 eixos i un altre del rumb de la brúixola, en un únic mòdul. Així doncs, aquesta brúixola proporciona, a més del rumb, el *pitch* (moviment el l'eix Y) i el *roll* (balanceig) de l'aparell, és a dir, també funciona com un inclinòmetre.

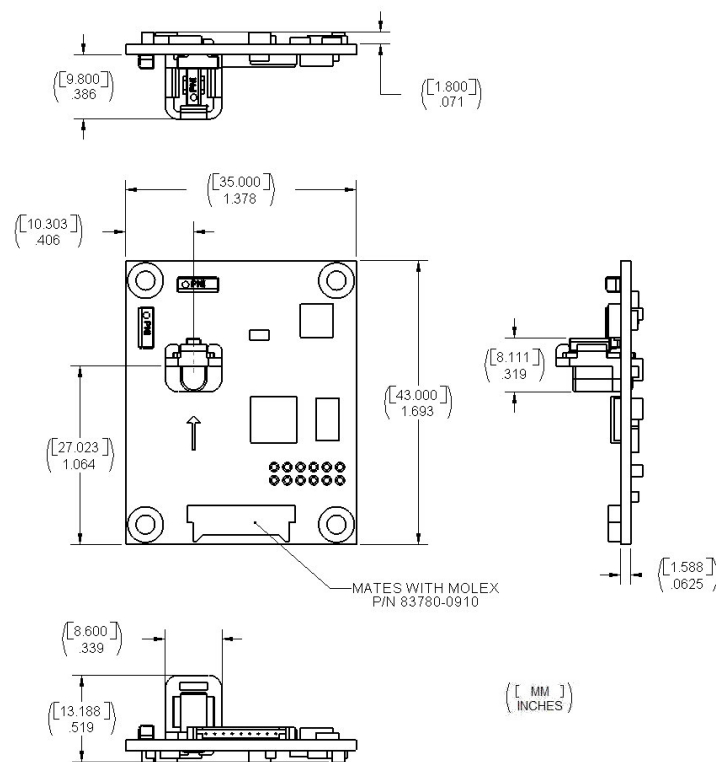


Figura 2.9.- Brúixola electrònica TCM2.6

Els avantatges que suposen l' utilització d'aquest model de brúixola electrònica són la compatibilitat d'aquesta amb els sistemes existents, el baix consum d'energia, la reduïda dimensió, la immunitat a grans senyals de soroll en totes les condicions i el gran rang de mesurament del camp magnètic que proporciona. En la taula següent es mostren les seves especificacions de manera detallada.

Paràmetre	Típic	Unitat
Especificacions del rumb		
Precisió del rang d' inclinació	0,8°	Graus RMS
Resolució	0,1°	
Repetibilitat	0,1°	
Màxim angle de pendent	85°	Graus
Especificacions del magnetòmetre		
Rang calibrat de mesura del camp	±80	µT
Resolució magnètica	±0,05	
Repetibilitat magnètica	±0,1	
Especificacions de l' inclinòmetre		
Precisió de balanceig	0,2°	Graus RMS
Rang d'inclinació	±50°	Graus
Resolució de l' inclinació	0,1°	
Repetibilitat de la inclinació	0,1°	Graus RMS
Calibratge		
Calibratge <i>Hard Iron</i>	Sí	-
Calibratge <i>Soft Iron</i>	No	
Especificacions mecàniques		
Dimensions (L x W x H)	3,4 x 4,3 x 1,3	cm
Pes	12	Grams
Opcions de muntatge	Muntatge per cargols / Punt mort horitzontal	-
Connectar per a RS-232	9 pins	-
Especificacions E/S		
Latència al encendre	<210	mSeg
Latència de mode d'espera	<1	-
Màxima velocitat de mostreig	8	Mostres/segon
Velocitat de comunicació del RS-232	300 a 115200	Bauds
Formats de sortida	Protocol TCM2 ASCII	-
Especificacions de potència		

Tensió d'alimentació	3,6 a 5 V (no regulats)	VDC
Corrent (Sortida contínua)	Màxima: 22 Típica: <20	mA
Mode ralenti	18	
Mode d'espera	0,6	
Especificacions ambientals		
Temperatura d'operació	-20 a 70	°C
Temperatura d'emmagatzematge	-40 a 85	
Xoc	2500 G's por MIL-STD-810F	-
Vibració	Qualificació per MIL-STD-810F	
Humitat	No condensació / Qualificat per MIL-STD-810F	

Taula2.4.- Especificacions de la brúixola/inclinòmetre TCM2.6**Figura 2.10.-** Dimensions de la brúixola electrònica TCM2.6

2.3.1.1.- Modes de funcionament

Una vegada connectada la brúixola/inclinòmetre, aquesta es queda en mode d'espera (standby). És llavors quan es poden obtenir dades del sensor de manera manual o a partir d'una ordre de sol·licitud de dades. També és possible habilitar el funcionament en mode continu, en el qual el sensor envia periòdicament les trames d'informació, a una velocitat de mostreig que pot ser determinada per l'usuari.

2.3.1.2.- Sintaxi de les comandes

Existeixen tres tipus de comandes que poden ser utilitzades per programar la brúixola electrònica TCM2.6:

- Comandes de configuració de paràmetres per l'usuari.
- Comandes de petició de dades, les quals permeten consultar l'informació de la TCM2.6 o els valors dels paràmetres definits per l'usuari.
- Comandes d'acció, que habiliten a la TCM2.6 per a dur a terme una acció específica.

Totes les comandes han d'anar seguides per "<cr>" o "<cr><lf>". Els caràcters "<lf>" són ignorats per la TCM2.6, però se suporten per permetre la compatibilitat amb una varietat de terminals.

En la taula següent s'ofereix una breu descripció de les comandes més comuns, que il·lustren la flexibilitat de la brúixola a l'hora d'adaptar-se a les necessitats de l'usuari.

Comanda	Descripció
Comandes de petició de dades	
c?	Actualitzar la brúixola
i?	Actualitzar l'inclinòmetre
lc?	Consultar l'última puntuació de calibratge
m?	Actualitzar el magnetòmetre
s?	Actualitzar una única trama de sortida
t?	Actualitzar la temperatura
Comandes d'acció	
cc	Esborrar les dades de calibratge
fàbrica	Configuració de fàbrica
go	Entrar en mode continu
h	Per al mostreig continu, entrar en standby
halt=	Habilitar la parada per un únic caràcter
mpcal=	Calibratge multipunt
sleep	Mode d'espera
wake	Despertar del mode d'espera
ax	Reiniciar en calent
Comandes de configuració de paràmetres pel usuari	
b=	Seleccionar els bauds
damping=	Habilitar el filtre per esmorteir la sortida
ec=	Habilitar les dades de la brúixola per a la trama de sortida
em=	Habilitar les dades del magnetòmetre per a la trama de sortida
ep=	Habilitar les dades d'inclinació per a la trama de sortida
er=	Habilitar les dades de balanceig per a la trama de sortida
et=	Habilitar les dades de temperatura per a la trama de sortida
ma=	Seleccionar l'opció de sortida del magnetòmetre
mag_dec=	Seleccionar l'angle de declinació
sdo=	Seleccionar el format de la trama de sortida del RS232
sn=	Seleccionar el nord real o magnètic
timeconst=	Seleccionar el valor de filtrat de les sortides
uc=	Seleccionar les unitats de la brúixola
ui=	Seleccionar les unitats del inclinòmetre
ut=	Seleccionar les unitats de temperatura

Taula 2.5.- Comandes comuns de la TCM2.6

2.3.1.3.- Dades de sortida del sensor

El format de les dades de sortida de la brúixola TCM2.6 pot ser seleccionat per l'usuari entre el format NMEA 0183 i l'estàndard. El protocol NMEA (National Maritime Electronics Association) és un mitjà a través del qual els instruments marítims (radar, brúixola, etc.) i també la majoria de receptors GPS poden comunicar-se els uns amb els altres [15]. No obstant això, en el format NMEA 0183 d'aquesta brúixola tan sols està disponible l'informació del rumb. Per tant, s'utilitza el format estàndard que ve configurat per defecte.

El format estàndard de la TCM2.6, al contrari que el NMEA 0183, posseeix l'informació del rumb de l'inclinòmetre, del magnetòmetre, del termòmetre i de l'alerta de distorsió en la detecció. A més, és possible configurar la brúixola perquè mostri totes aquestes dades o tan sols les d'interès per l'usuari, també poden escollir-ne les unitats d'algunes d'aquestes. El format de la trama de dades és el següent:

```
$C<rumbo>P<cabeceo>R<balanceo>X<Bx>Y<By>Z<Bz>T<temp>E<error>*checksum<cr><lf>
```

Per entendre millor aquesta trama de dades, ens fixem en el següent exemple, en el qual la TCM2.6 ha retornat la següent informació:

```
$C328.3P28.4R-12.4X55.11Y12.33Z-18.43T22.3E001*checksum<cr><lf>
```

Així doncs, en el moment de censar aquestes dades, la brúixola es trobava amb les següents condicions:

- Rumb = 328,3° (veritable o magnètic, depenent de la configuració)
- Inclinació = 28,4°
- Balanceig = -12,4°
- Bx = 55,11 µT (component x del camp magnètic)
- By = 12,33 µT (component y del campo magnètic)
- Bz = -18,43 µT (component z del campo magnètic)
- Temperatura = 22,3° (F o C, depenent de la configuració)
- E001 = Codi d'error 001

El valor del checksum és una comprovació d'error resultat de calcular la XOR de tots els bytes ASCII que es troben entre el caràcter “\$” i el “*”.

Els codis d'error es donen en la trama de dades de sortida de la TCM2.6, immediatament posteriors al checksum e indicats per la lletra “E” seguida de tres caràcters ASCII, que representen dígit hexadecimals. El resum dels errors més comuns es mostra en la taula següent:

Codi d'error	Descripció
E002	Inclinòmetre fora de rang
E004	Magnetòmetre fora de rang
E006	Inclinòmetre i magnetòmetre fora de rang
E010	Comanda invàlida o no disponible
E040	Paràmetre de comanda invàlida
E050	Comanda i paràmetre de comanda invàlida o no disponible
E400	Error de EEPROM2
E800	Error de EEPROM1
EC00	Error de EEPROM2 i EEPROM1

Taula 2.6.- Codis d'error comuns de la TCM2.6

2.3.1.4.- Interpretació de les dades de sortida

La TCM2.6 utilitza els angles d'Euler com a mètode per determinar l'orientació exacta. Aquest mètode és el mateix utilitzat en l'orientació aeronàutica, en el qual els paràmetres són el viratge (yaw), l'inclinació (pitch) i el balanceig (roll).

Quan s'utilitzen els angles d'Euler, el balanceig es defineix com l'angle rotat entorn un eix longitudinal que passa pel centre de l'element, mentre que l'inclinació és la rotació al voltant d'un eix lateral que passa pel centre del vaixell. Aquestes dues rotacions són independents entre si.

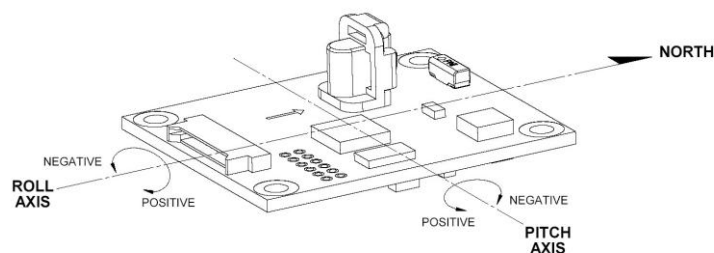


Figura 2.11.- Eixos de la brúixola electrònica TCM2.6

Respecte al rumb, si aquest és igual a 0° , s'interpreta que la brúixola TCM2.6 està centrada en el nord. Aquest angle, tal com passa en les brúixoles convencionals, creix en el sentit de les agulles del rellotge. Cal tenir en compte que, depenent de la posició sobre el globus terraqüi, el nord real no és el mateix que el nord magnètic. Aquesta variació magnètica es coneix com declinació, i es determina com la diferència entre el nord real i el magnètic, relativa a un punt de la terra. La TCM2.6 permet introduir aquesta correcció segons la posició geogràfica en la qual es trobi perquè, en comptes de mostrar el nord magnètic, mostri el real.

2.3.1.5.- Interconnexió

Una vegada la brúixola electrònica és connectada a l'alimentació i a un dels ports del PC, aquesta comença a funcionar. El cable per a tal objectiu ve ja inclòs a l'adquirir la brúixola/inclinòmetre TCM2.6. La connexió entre la TCM2.6 i la placa base es realitza via protocol sèrie, com s'ha esmentat abans. L'alimentació necessària són 5 V continus, aplicats al pin 9 (Vermell), i massa connectada en el pin 1 (Negre). La comunicació entre la TCM2.6 i la CPU és bidireccional, ja que la brúixola electrònica permet rebre ordres via port sèrie per, d'aquesta manera, canviar la seva configuració, calibrar-la, etc. Per aquesta raó, per realitzar la comunicació són necessaris tres pins del terminal RS-232 de la brúixola (pins 7, 8 i 3). La configuració completa dels pins pot veure's en la taula següent:

PIN	Color del cable	Descripció del PIN
1	Negre	Terra d'alimentació
2	Gris	NC
3	Verd	Terra de RS-232
4	Taronja	NC
5	Violeta	NC
6	Marró	NC
7	Groc	TxD
8	Blau	RxD
9	Vermell	5 VDC

Taula 2.7.- Configuració dels pins de la brúixola/inclinòmetre TCM2.6

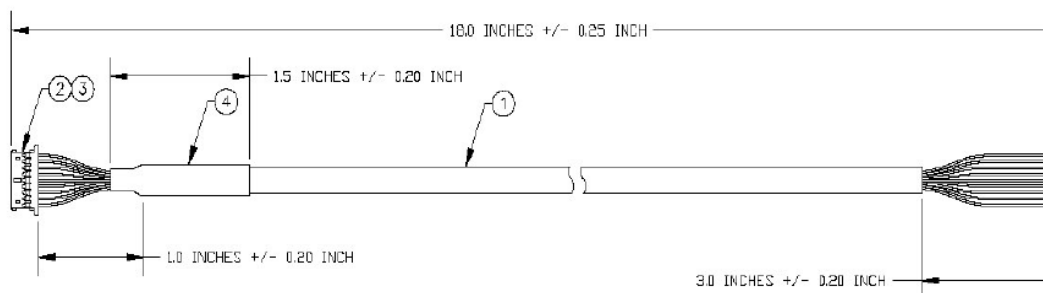


Figura 2.12.- Dimensiones del cable de la brúixola/inclinòmetre TCM2.

La configuració del port sèrie de la placa base per a comunicar-se adequadament amb la TCM2.6 ha de ser la següent: 8 bits de dades, 1 bit de start, 1 bit de stop, sense paritat i sense control del flux. Mentre que la velocitat de transferència és configurable per l'usuari; per defecte es troba a 9600 bauds, però pot anar de 300 a 115200 bauds.

2.3.2.- Receptor GPS DG14 Board

El Global Positioning System (GPS) o Sistema de Posicionament Global és un Sistema Global de Navegació per Satèl·lit (GNSS) que permet determinar en tot el món la posició d'un objecte, un vehicle o una nau amb una precisió de centímetres usant GPS diferencial, encara que l'habitual són uns pocs metres.



Figura 2.13.- Xarxa de satèl·lits en òrbita

El GPS funciona mitjançant una xarxa de 27 satèl·lits (24 operatius i 3 d'ajuda) en òrbita sobre el globus terraqüi, a 20.200 km, amb trajectòries sincronitzades per cobrir tota la superfície de la Terra.

Un d'aquests satèl·lits es pot veure en la Figura 2.14. Quan es desitja determinar la posició, el receptor que s'utilitza per això, localitza automàticament com a mínim tres satèl·lits de la xarxa, dels quals rep uns senyals indicant la posició i el rellotge de cadascun d'ells. Sobre la base d'aquests senyals, l'aparell sincronitza el rellotge del GPS i calcula el retard dels senyals; és a dir, la distància al satèl·lit. Per "triangulació" calcula la posició la qual aquest es troba. La triangulació en el cas del GPS, a diferència del cas 2-D que consisteix a esbrinar l'angle respecte uns punts coneguts, es basa a determinar la distància de cada satèl·lit respecte al punt de mesurament.

Conegudes les distàncies, es determina fàcilment la pròpia posició relativa respecte els tres satèl·lits. Coneixent a més les coordenades o posició de cadascun d'ells pel senyal que emeten, s'obté la posició absoluta o coordenades reals del punt de mesurament.

També s'aconsegueix una exactitud extrema en el rellotge del GPS, similar a la dels rellotges atòmics que duen a bord cadascun dels satèl·lits.

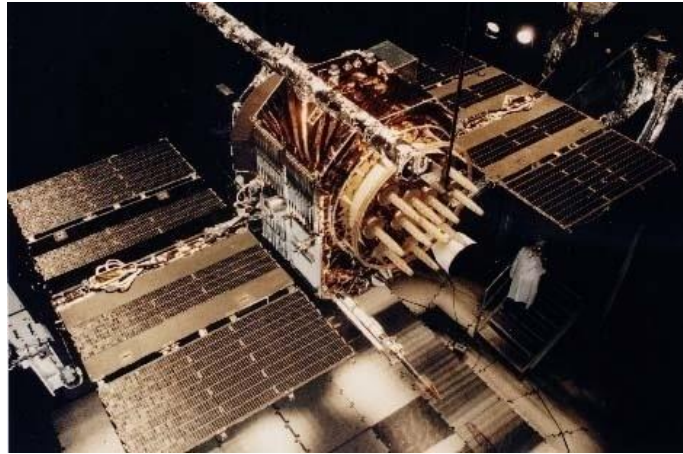


Figura 2.14.- Satèl·lit NAVSTAR GPS

La posició calculada per un receptor GPS requereix l'instant actual, la posició del satèl·lit i l'endarreriment del senyal rebut. La precisió depèn de la posició i el endarreriment del senyal. El DGPS, o GPS diferencial, és un sistema que proporciona als receptors de GPS correccions de les dades rebudes dels satèl·lits GPS, amb la finalitat de proporcionar una major precisió en la posició calculada.

El funcionament del sistema DGPS es basa en un receptor GPS fix a terra (referència) que coneix exactament la seva posició basant-se en altres tècniques; un exemple d'aquest tipus de receptor pot veure's en la Figura 2.15. Aquest GPS de referència rep la posició donada pel sistema GPS, i pot calcular els errors produïts pel sistema GPS, comparant-la amb la seva, coneguda prèviament. Aquest receptor transmet la correcció d'errors als receptors pròxims a ell, i així aquests poden, al seu torn, corregir també els errors produïts pel sistema dintre de l'àrea de cobertura de transmissió de senyals de l'equip GPS de referència [16].



Figura 2.15.- Estació de referència DGPS

El GPS escollit per formar part del sistema proposat és, precisament, un DGPS, a causa de la necessitat de conèixer les coordenades del vaixell de manera exacta i, d'aquesta manera, dissenyar un sistema de control precís que permeti a l'aparell traçar una ruta prefixada per l'usuari.

El DG14 Board de Magellan [17] és el receptor GPS seleccionat, el qual pot veure's en la Figura 2.16. Aquest processa senyals de la constel·lació de satèl·lits del Sistema de Posicionament Global (GPS), dels satèl·lits geostacionaris de la xarxa SBAS (Satellite-Based Augmentation System), que és exclusiva per al sistema DGPS, i d'uns 300 kHz de transmissions Beacon (senyals de referència o far). D'aquesta manera, pot proporcionar en temps real la posició, la velocitat i les mesures de temps. La xarxa SBAS, de la qual es nodreix el receptor DG14, inclou tres sistemes de satèl·lits compatibles entre si [16]:

- WAAS (Wide Area Augmentation System), desenvolupat per EEUU.
- EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), creat per l'Agència Espacial Europea (AQUESTA), la Comissió Europea i Eurocontrol.
- MSAS, operatiu a Àsia, principalment a Japó.



Figura 2.16.- Receptor GPS DG14 Board de Magellan

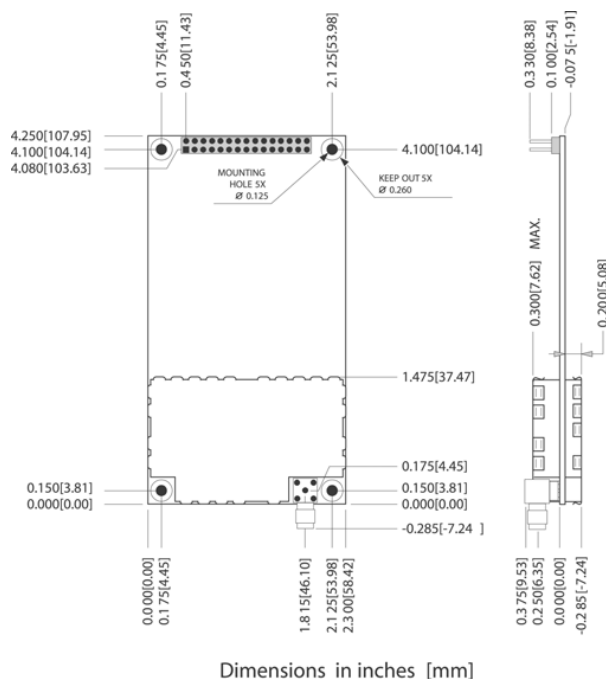
Els avantatges que proporciona al sistema l'elecció del DG14 deriven de la seva condició de GPS diferencial, ja que pot corregir en part els errors deguts als següents factors:

- Disponibilitat selectiva, que és un error aleatori entre 15 i 100 m que va introduir el departament de Defensa d'EEUU, a causa del caràcter militar del sistema GPS, però que està ja obsolet.
- Retard a causa de la propagació del senyal per la ionosfera - troposfera.
- Errors en la posició del satèl·lit (efemèrides).
- Errors produïts per problemes en el rellotge del satèl·lit.

En la següent taula s'ofereix un resum detallat de les especificacions del GPS DG14 Board:

Resolució de posicionament (DGPS)	
Horitzontal CEP	40 cm
Horitzontal (95%)	90 cm
Vertical (95%)	1,6 m
Temps de posta en marxa (TTFF)	
RE- adquisició	3 segons
Arrencada en calent	11 segons
Arrencada suau	35 segons
Arrencada en fred	90 segons
Especificacions físiques	
Mida	107,95 mm x 57 mm ($\pm 0,13$)
Pes	2,8 oz = 79,38 grams
Humitat	95% no condensació
Xoc	RTCA DO-160C – op/xoc de seguretat: - Operacional: ± 40 G en l'eix X, Y o Z - No operacional: ± 75 G en l'eix X, Y o Z
Vibració	MILSPEC 810E - Categoria 10: Test de mínima integritat - General
Acceleració	20 G
Velocitat màxima	1000 knots = 1852 km/h
Altitud màxima	60000 ft = 18288 m
Requisits d'alimentació	
Tensió d'alimentació	5 VDC regulated $\pm 5\%$
Consum de potència (típic)	1.2 watts GPS 1.6 watts GPS+Beacon 1.9 watts GPS + Beacon + antena/LNA

Consum de la bateria de seguretat	<ul style="list-style-type: none"> - 5 μ watts típic, 50 μ watts màxim (bateria externa) - 1 μA (sense tensió d' entrada aplicada) - 0.3 μA (amb tensió d' entrada aplicada)
Cablejat exterior	Calibre 30 (mínim)

Taula 2.8.- Especificacions del receptor GPS DG14 Board**Figura 2.17.-** Dimensions del receptor GPS DG14 Board

2.3.2.1.-Modes de funcionament

El receptor GPS DG14 comença automàticament a buscar satèl·lits una vegada és connectat a l'alimentació. Si rep el senyal de solament un satèl·lit, el DG14 pren la referència de temps del rellotge del satèl·lit. En canvi, si el senyal consta de tres satèl·lits, el receptor GPS computa i etiqueta temporalment la posició horitzontal (2D) i la velocitat de la seva antena. Per aquest cas, l'entrada de la posició inicial estimada no és necessària. Quan rep un missatge de comanda apropiat de l'equip de control a través d'un dels seus ports sèries, el DG14 envia els resultats del seu còmput al port designat.

A partir de la detecció de quatre satèl·lits, el receptor DG14 determina la posició tridimensional (latitud, longitud i altura) i la velocitat. La resolució de la posició autònoma és de 2 metres CEP (Circular Error Probable) quan la PDOP (Position Dilution of Precision) és menor a quatre; la resolució de la velocitat és de 0,1 metres per segon.

No obstant això, si el DG14 està operant en mode diferencial, la resolució millora en més de 1 metre CEP. En condicions normals que hi ha cel obert, la primera adquisició de les dades de posicionament triga a aconseguir-se uns 35 segons (warm start) o, si la bateria de reserva interna no s'ha descarregat, uns 11 segons (hot start).

Una vegada el receptor ha determinat la posició i s'ha activat la petició d'informació mitjançant la comanda adequada, el GPS comença a enviar trames de dades vàlides a partir del port sèrie.

Si el DG14 es desplaça a l'altra punta del planeta o romangués un llarg període de temps desconnectat, el temps de detecció dels satèl·lits seria més alt (cold start), en concret, d'aproximadament 90 segons. Aquest fet es pot solucionar introduint de manera manual les dades de l'última posició a través del port sèrie, i a partir d'unes comandes específiques.

El DG14 Board té un LED de tres colors en la placa que indica l'estat del receptor. Una vegada encès el GPS, el LED emet parpelleigs de color vermell fins que es computa la posició. Després de calcular aquesta posició, el LED parpelleja en groc o verd entre els parpelleigs en vermell de l'estat anterior per indicar el nombre de satèl·lits visibles, ja que és possible conèixer quants satèl·lits hi ha en el cel contant el nombre de centelleigs grocs o verds. La taula següent mostra una descripció de la situació en la qual es troba el GPS segons el color i l'estat del LED.

Color del LED	Descripció
Parpelleig llarg vermell (0,75 s)	DG14 està computant una posició
Parpelleig curt vermell (0,25 s)	DG14 ha perdut la posició que estava computant
Parpelleig groc	El Satèl·lit està bloquejat, però no s'utilitza en el còmput de la posició. No es troba preàmbul.
Parpelleig curt verd (0,25 s)	El satèl·lit està bloquejat i disponible per al còmput de la posició, però la efemèrides del satèl·lit no s'ha recollit.
Parpelleig llarg verd (0,75 s)	El satèl·lit i la efemèrides s'han recollit i estan disponibles per al còmput de la posició.

Taula 2.9.- Descripció del estat del LED del receptor DG14 Boar

A més del LED de tres colors descrit anteriorment, el DG14 disposa d'un altre LED que indica l'estat diferencial del GPS. Aquest LED és de dos colors i posseeix informació de la disponibilitat de les correccions diferencials al receptor. El LED presenta el nombre de correccions rebudes per cada tipus: SBAS, Beacon o sèrie. Per a tal objectiu, el LED parpelleja amb les següents seqüències repetitives:

- Un centelleig vermell seguit pel nombre de correccions d'entrada SBAS representades per centelleigs verds.

- Dos centelleigs vermells seguits pel nombre de correccions d'entrada Beacon representades per centelleigs verds.
- Tres centelleigs vermells seguits pel nombre de correccions d'entrada sèrie representades per centelleigs verds

2.3.2.2.- Sintaxi de les comandes

Les comandes del port sèrie permeten configurar els paràmetres del receptor GPS i enviar peticions d'informació de l'estat del receptor, a més d'altres dades. Per tant, tots els missatges enviats per l'usuari al receptor són comandes de missatges de configuració o de petició. Així doncs, les comandes de configuració generalment canvien els paràmetres del receptor i inicialitzen les dades de sortida, mentre que les comandes de petició usualment demanen informació de l'estat del receptor. Cal tenir en compte que alguns dels missatges són funcionals tan sols si l'opció apropiada es troba instal·lada.

El DG14 té un gran nombre d'opcions disponibles, la selecció de les quals en el receptor determina quines comandes poden ser utilitzades. La comanda "\$PASHQ, RIO" consulta la configuració del receptor. El missatge de resposta d'aquesta comanda inclou els nombres de la versió del programa del processador i del canal, una llista de les opcions instal·lades, i el nombre de sèrie que identifica al receptor. Aquesta resposta presenta el següent format, que s'interpreta a partir de la taula següent:

\$PASHQ,RIO,f1,f2,f3,f4,f5*cc

Camp	Descripció
f1	Nom del receptor (màxim 10 caràcters)
f2	Versió del programa del processador principal (màxim 10 caràcters)
f3	Versió del programa del canal (màxim 10 caràcters). Si no es aplicable, el camp es queda buit
f4	Configuració d'opció (màxim 42 caràcters). Caràcters ASCII representen les opcions instal·lades
f5	Nombre de sèrie del receptor (màxim 20 caràcters). "_" representen espais en blanc
Cc	Cheksum. XOR (OR exclusiva) de tots els caràcters entre "\$" y "*"

Taula 2.10.- Missatge de resposta de la comanda "\$PASHQ, RIO"

El GPS DG14 té 18 opcions disponibles, cadascuna d'elles es representa mitjançant una lletra o un nombre en un cert ordre. La presència de les opcions donades s'indica amb la lletra o el nombre associat. Un guió ("-") indica que l'opció està disponible però no instal·lada, mentre que un guió baix ("_") indica una opció reservada. Aquestes 18 opcions es llisten a la taula següent en l'ordre que apareixen a la comanda RIO:

Opció	Descripció
[W = 20 Hz] [T = 10 Hz] [5 = 5 Hz] [2 = 2 Hz] [1 = 1 Hz]	Velocitat d' actualització de la posició
[O]	Sortida de dades sense processar
[P]	Rastreig de la portadora de fase
[U]	RTCM Diferencial – Estació remota
[B]	RTCM Diferencial – Estació base
[K]	Generació de missatge 18/19 tipus RTCM (només disponible amb l' opció RTCM base)
[L]	Sortida de pols sincronitzat (1 PPS)
[E]	Marcador d' esdeveniment fotogramètrica
[C]	Strobe Correlator
[N]	Beacon (no aplicable al DG14)
[Y]	SBAS
[X]	Missatge definit pel usuari (no aplicable al DG14)
[D]	Optimització integral diferencial
[R]	Tercer port sèrie (C)
[A]	Límit d' altitud esborrat
[V]	Límit de velocitat esborrat
[M]	Diferencial multi- base amb WADGPS (només disponible amb l' opció RTCM remot i una velocitat màxima d' actualització de 10 Hz)
[I]	RAIM

Taula 2.11.- Opcions de la comanda RIO

Totes les comandes de configuració comencen amb els caràcters, “\$PASHS”, totes les de petició per “\$PASHQ”, es a dir, “\$PASHS” i “\$PASHQ” són els encapçalaments del missatge i són indispensables per totes les comandes de configuració i petició.

A més a més, totes les comandes s'han de finalitzar amb “<Enter>” o “<CR><LF>” (*Carriage Return / Line Feed*) per enviar la comanda el receptor.

Si es vol, un checksum opcional pot precedir els caràcters “<Enter>”. Tots els missatges de resposta també han de finalitzar amb “<Enter>” o “<CR><LF>”.

L'estructura completa de les comandes de configuració i petició es la següent:

Encapçalament, Identificació de la comanda, <Paràmetres de la comanda > *Checksum <Enter>

Quan s'envia una comanda per un dels ports sèrie del DG14, aquest respon amb un missatge que indica l'acceptació o el rebuig de la comanda. En el cas de les comandes de petició, el GPS respon amb un missatge que conté dades rellevants de la consulta o envia “NAK” com a resposta, indicant que la comanda de petició ha estat invalida. Tots els missatges de resposta del

DG14 comencen amb els caràcters “\$PASHR”, incloent els missatges d'estat que són seleccionats com sortida a intervals regulars des d'algun dels ports sèrie del receptor.

Les comandes del port sèrie del DG14 es poden englobar en quatre grups:

- COMANDES DEL RECEPTOR: Permeten a l'usuari canviar o consultar l'estat de diversos paràmetres operatius, com són la màscara d'elevació i l'altitud de l'antena.
- COMANDES DE DADES SENSE PROCESSAR: Permeten a l'usuari canviar o consultar els paràmetres i missatges de les dades sense processar, inclòs habilitar o deshabilitar la sortida de missatges de dades sense processar, seleccionar el llindar i l'interval de sortida d'aquests missatges, etc.
- COMANDES DEL MISSATGE NMEA: Permeten a l'usuari canviar els paràmetres pels missatges NMEA de sortida.
- COMANDES DIFERENCIALS: Aquestes es subdivideixen al seu torn en comandes RTCM, comandes SBAS i comandes Beacon. Les comandes RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) permeten a l'usuari controlar i monitoritzar l'operació en mode diferencial. Per la seva banda, les comandes SBAS permeten controlar i especificar l'ús de les funcionalitats WAAS, EGNOS i MSAS. I finalment, les comandes Beacon estan solament disponibles amb l'opció Beacon [N] instal·lada.

2.3.2.3.- Dades d'entrada del sensor

Les dades d'entrada al receptor DG14 comprenen els missatges de comandes de configuració i petició, i els missatges de comandes generals. Aquests missatges compleixen amb el format definit en l'estàndard NMEA 0183 en la mesura següent:

- Les trames de byte ASCII NMEA 0183 estan precedides pel caràcter “\$”.
- Els camps de dades estan separats per comes.
- El caràcter delimitador del checksum i els bytes del checksum NMEA són reconeguts pel DG14 però són opcionals.
- Els missatges acaben amb els caràcters de terminació estàndard NMEA [CRLF].

No obstant això, els missatges es desvien de l'estàndard NMEA pel següent:

- Els encapçalaments estan en format Ashtech.
- Els identificadors dels missatges també estan en format Ashtech.

- La longitud dels missatges pot excedir de 80 caràcters.
- Els missatges poden ser definits per l'usuari amb la utilitat UDM (User Messaging Utility) i l'opció [X] instal·lada.

2.3.2.4.- Dades de sortida del sensor

El DG14 pot ser programat per enviar dades a un altre component; Aquestes dades de sortida inclouen generalment els missatges d'estat del receptor, els missatges ACK/NAK i els missatges de dades del GPS. Els missatges d'estat generals del receptor tenen un format lliure Ashtech, mentre que els altres esmentats compleixen amb l'estàndard NMEA tal com segueix:

- Les trames de byte ASCII NMEA 0183 estan precedides pel caràcter "\$".
- Els encapçalaments estan en format estàndard NMEA o Ashtech NMEA.
- Els identificadors dels missatges estan també en format estàndard NMEA o Ashtech NMEA.
- Els missatges en format estàndard NMEA contenen bytes hexadecimals de checksum.
- Els camps de dades estan separats per comes; comes successives indiquen una dada invàlida o perduda (explicat anteriorment).
- Els missatges acaben amb els caràcters de terminació estàndard NMEA [CRLF].

2.3.2.5.- Interpretació de les dades de sortida

El GPS determina la posició tridimensional dels punts estudiats basant-se en les referències del sistema de coordenades mundials WGS-84 (World Geodetic System 1984). Aquesta posició es presenta com valors de coordenades cartesianes geocèntriques (X, Y, Z), o bé com coordenades geodèsiques (latitud, longitud i altura el·lipsoïdal). No obstant això, existeixen circumstàncies en les quals és desitjable tenir les posicions representades en un marc o format diferent (per exemple, en una referència diferent o projectades en un plànol). Per aquesta finalitat, el DG14 proporciona les següents eines per transformar les coordenades WGS-84 a diferents formats o marcs de referència:

- Transformació referència a referència: Utilitzant aquesta característica, les coordenades WGS-84 es poden traduir a una altra base de coordenades o a un altre referència.
- Transformació referència a quadrícula: A partir d'aquesta eina un sistema quadriculat pot ser definit per convertir coordenades geodèsiques a coordenades quadriculades.

En la Taula 2.12 es mostra un resum d'aquestes tres eines de transformació de coordenades. Mentre que les Figures representen gràfics de diferents tipus de projecció disponibles pel receptor.

Transformació	Descripció
Referència a referència	Transformació de referències 3D entre dos sistemes cartesianes XYZ associats amb la referència WGS-84 i una referència local definida pel usuari.
Referència a quadrícula	<p>Projecció de les dades des d'un sistema geodèsic, associat amb la referència WGS-84 o la definida pel usuari i un sistema quadriculat específic.</p> <p>Projeccions de mapes suportades:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mercator (EMER) - Mercator Transversal (TM83) - Mercator Obliqua (OM83) - Aquestreogràfica (Polar i Obliqua) (STER) - Lambert Conformal Cònica (2 per al·lels estàndard) (LC83) <p>Projeccions de mapes especials i específics per a NAD27:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mercator Transversal (TM27 y TMA7) - Mercator Obliqua 27 (OM83) - Lambert Conformal Cònica 27 (LC27)
Modelat de elevació	Interpolació d'ondulacions geoidals

Taula 2.12.- Eines de transformacions de coordenades pel usuari

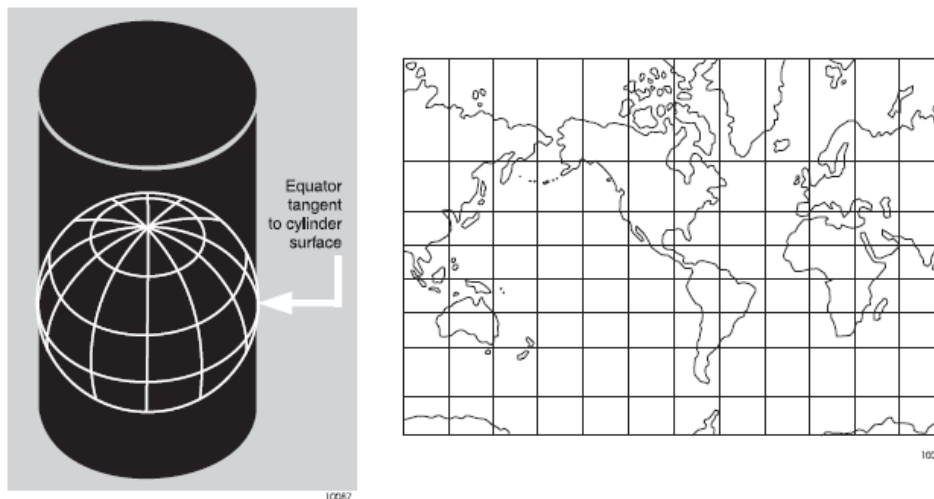


Figura 2.18.- Projecció Mercator

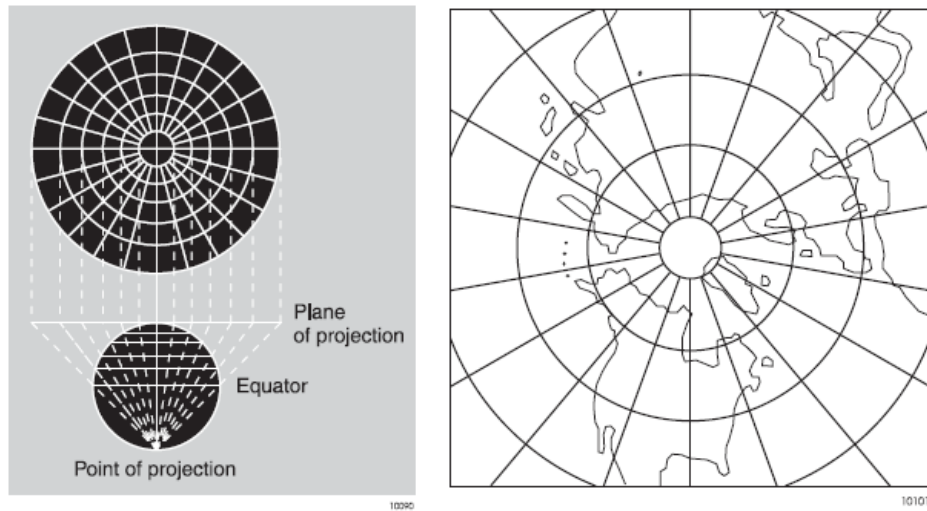


Figura 2.19.- Projectió Aquestreogràfica

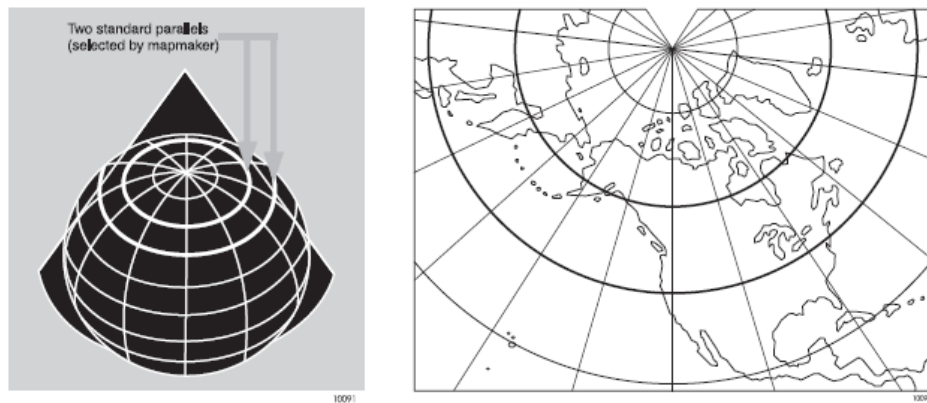


Figura 2.20.- Projectió Lambert Conformal Cònica

2.3.2.6.- Interconnexió

Totes les connexions d'alimentació i d'entrada/sortida del receptor GPS DG14 Board estan fetes en un connector J801. Aquest és un connector, la terminal del qual, és un mascle de 30 pins en dues línies (15 x 2). El J801 proporciona una sèrie de connexions útils, a més de les de tensió i E/S, incloent una connexió per a un LED extern, connexió per a una bateria de seguretat per al manteniment de la RAM, entrada per fer el reset manual de la maquinaria, sortida per a un pols TTL, entrada per a etiquetar temporalment fotogrametria, etc. En la Figura 2.21 pot veure's de manera gràfica la configuració de tots els pins del connector J108, mentre que la Taula 2.13 mostra aquesta mateixa configuració al detall.

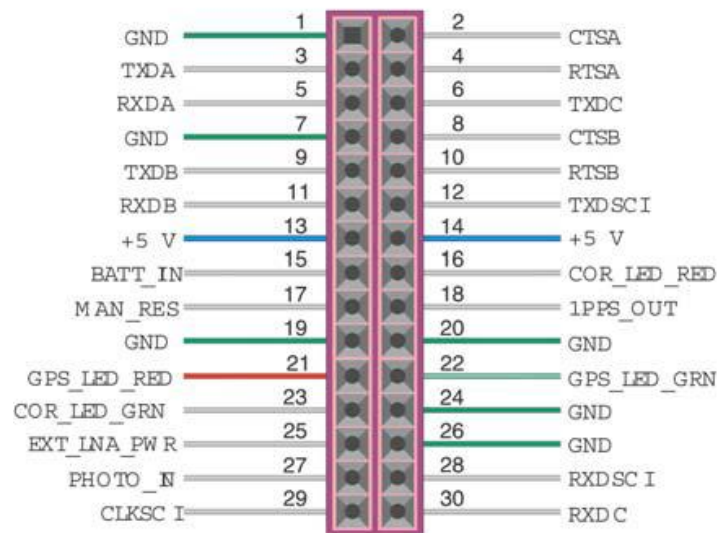


Figura 2.21.- Configuració del connector J801

Pin	Codi	Descripció
01	GND	Massa del Port sèrie A
02	CTSA	Port A RS-232 esborrar per a enviar
03	TXDA	Port A RS-232 transmetre dades
04	RTSA	Port A RS-232 petició per a enviar
05	RXDA	Port A RS-232 rebre dades
06	TXDC	Port C RS-232 transmetre dades
07	GND	Massa del Port sèrie B
08	CTSB	Port B RS-232 esborrar per a enviar
09	TXDB	Port B RS-232 transmetre dades
10	RTSB	Port B RS-232 petició per a enviar
11	RXDB	Port B RS-232 rebre dades
12	TXDSCI	No usar aquest pin
13	+5V	Entrada +5 VDC
14	+5V	Entrada +5 VDC
15	BATT_IN	Bateria recuperació 2,5 – 3,6 V per a memòria i rellotge de temps real
16	COR_LED_RED	Sortida externa de control del LED, estat de correccions diferencials, vermell (3,3V/100Ω)
17	MAN_RES	Connectar a massa per fer el reset manual del hardware
18	1PPS_OUT	Sortida TTL de 1PPS sincronitzada amb el temps del GPS
19	GND	Massa comú del xassís
20	GND	Massa comú del xassís
21	GPS_LED_RED	Sortida externa de control del LED, estat del GPS, vermell (3,3V/100Ω)
22	GPS_LED_GRN	Sortida externa de control del LED, estat del GPS, verd (3,3V/100Ω)
23	COR_LED_GRN	Sortida externa de control del LED, estat de correccions diferencials, verd (3,3V/100Ω)
24	GND	Massa comú del xassís
25	EXT_LNA_PWR	Entrada de tensió d' alimentació +5 VDC per a la antena LNA externa
26	GND	Massa comú del xassís
27	PHOTO_IN	Entrada del pols fotogramètric
28	RXDSCI	No usar aquest pin
29	CLKSCI	No usar aquest pin
30	RXDC	No usar aquest pin

Taula 2.13.- Descripció de la configuració del connector J801

La interfície de connexió completa del DG14 està formada pel ja esmentat connector J108, la terminal de la qual es connecta directament als pins de connexió de la placa del receptor GPS; dues terminals RS-232 (existeix un tercer terminal opcional), un dels quals va connectat a un port sèrie de la CPU PC/104+; i els terminals d'alimentació. Aquesta interfície s'il·lustra en la figura següent.

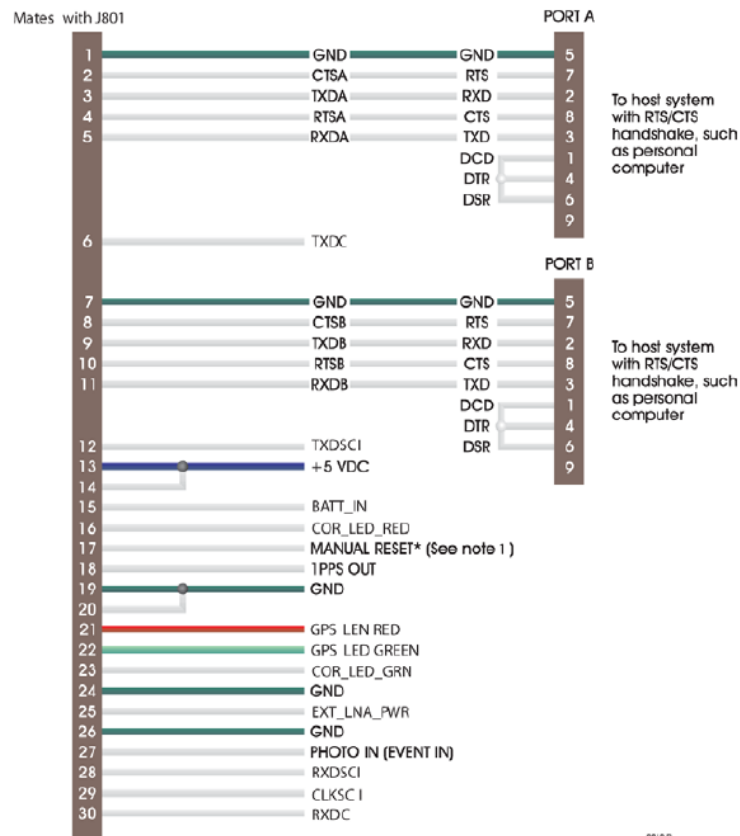


Figura 2.22.- Interfície de connexió del receptor GPS DG14 Board

S'ha optat per no adquirir en fàbrica aquesta interfície de connexió, per ser el seu preu elevat, i realitzar-la nosaltres mateixos. El resultat del muntatge de la interfície del receptor GPS DG14 pot veure's en la Figura 2.23, mentre que en la Figura 2.24 apareix el receptor GPS connectat a la seva interfície original.

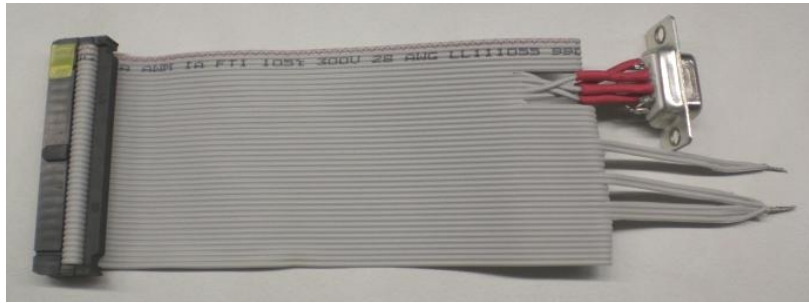


Figura 2.23.- Muntatge de la interfície de connexió del receptor GPS DG14

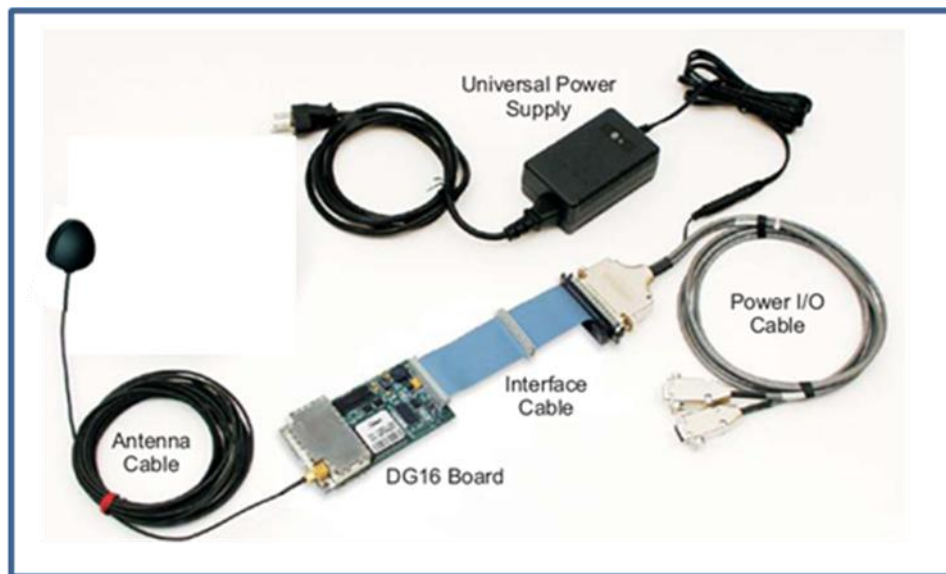


Figura 2.24.- Connexions del receptor GPS DG14 Board

La comunicació entre la CPU i el receptor GPS DG14 Board és bidireccional, pel mateix motiu que la brúixola electrònica; el DG14 transmet dades i rep comandes. La configuració del port sèrie de la CPU per comunicar-se correctament amb el receptor GPS DG14 Board es mostra en la taula següent.

Bauds	Bits de dades	Paritat	Bits de stop
9600	8	Cap	1

Taula 2.14.- Paràmetres de comunicació del receptor GPS DG14

2.3.2.7. Antena del receptor GPS Tear Drop GPS Antenna

El GPS DG14 està dissenyat per treballar amb una antena LNA (Low Noise Amplifier), que requereixi 5 volts i que estigui aïllada de terra DC. A més, el guany d'aquesta antena LNA menys la pèrdua del cable ha de ser d'entre 20 i 30 dB.

L'antena que s'ha seleccionat per acoblar el receptor GPS DG14 del sistema és la Tear Drop GPS Antena de RS [RS]. A la Figura 2.25 es pot veure una fotografia de la mateixa. Les seves característiques generals es mostren a la Taula 2.15.



Figura 2.25.- Tear Drop GPS Antena

Freqüència	1575.42 MHz
Tipus de polarització	Horitzontal
Impedància de sortida de l'antena	50 Ω VSWR \leq 2:1
Guany	26dB @ 3V , 28dB @ 5V
Soroll màxim	2,5 dB
Dimensions	15 x 44 mm

Taula 2.15.- Paràmetres de l'antena

2.3.2.8.- Interconnexió

Un cable coaxial de 50 Ω connecta l'antena Tear Drop GPS amb el connector RF (Ràdio Freqüència) del receptor GPS DG14. Es necessita un cable no separat per rebre els senyals WAAS, EGNOS, MSAS o Beacon. El DG14 proporciona la tensió d'alimentació a l'antena LNA a través del mateix cable. A més, tots els senyals es reben a través de l'entrada RF.

El connector RF del DG14 és un connector SMA (SubMiniature version A) femella estàndard. El xassís d'aquest connector està connectat a la massa comú del receptor GPS. El pin central del connector SMA proporciona +4,8 VDC (per alimentar l'antena) i accepta una entrada RF de l'antena de 1575 MHz; les senyals RF i DC comparteixen el mateix camí. El guany de l'antena

LNA menys la pèrdua del cable està entre 20 i 30 dB, com ja s'ha esmentat amb anterioritat. El DG14 inclou un circuit de protecció d'antena que limita el seu corrent en cas de curtcircuit. El corrent està limitat a un nivell d'aproximadament 7 Dt.



Figura 3.26.- Connectors SMA

Una vegada està encès el receptor GPS i l'antena està connectada, el DG14 adquireix satèl·lits situats en el camp de visió de l'antena. Cada satèl·lit captat és un canal per al DG14, el LED que indica el seu estat parpelleja verd o groc entre parpelleigs vermells tantes vegades com canals en ús.

2.3.3.- Característiques i funcionament dels servomotors

2.3.3.1.- Servomotors HS311

Abans d'il·lustrar com funciona la placa de control de servos es necessita conèixer el funcionament dels servomotors en general, i del que s'utilitza en el sistema en concret, per tal de fer moure el timó.

Els servos de pols proporcional estan dissenyats per enllaços de ràdio - control (R/C) com poden ser cotxes, vaixells o avions. Proporcionen un control precís de direcció, acceleració, timó, etc. A més utilitza un senyal que es compon de polsos positius de 0.9 ms a 2.1 ms de llarg amb una freqüència de 50Hz, pel que és fàcil de transmetre i rebre. La sortida del servo es posiciona en proporció a l'amplària del pols, com s'indica en la Figura 2.28. En les aplicacions de ràdio - control, el servo no necessita més d'un rang de 90° de moviment, per tant quan s'envien polsos amb el rang que especifica el fabricant de 0.9 a 2.1 ms, s'obté just aquest rang de moviment.

No obstant això, la majoria de servos tenen un rang mecànic major de 90°. De fet, la majoria poden rotar fins a 180°. Alguns controladors de servos, com l'utilitza't, permeten aquest rang extra. Per contra, alguns servos poden quedar danyats quan se'ls exigeix sobrepassar les seves

limitacions mecàniques. El model de servomotor utilitzat en el vaixell és el HITEC HS311 [18], a continuació es poden trobar les seves característiques generals.

Sistema de control	Control d' ampla de polsos
Pols requerit	De 3 a 5 V de pic
Tensió de treball	4.8 a 6 V
Temperatura de treball	-20°C a 60°C
Pes	43 g

Taula 2.16.- Característiques del servo HITEC HS311



Figura 2.27.- Servomotor HITEC HS311

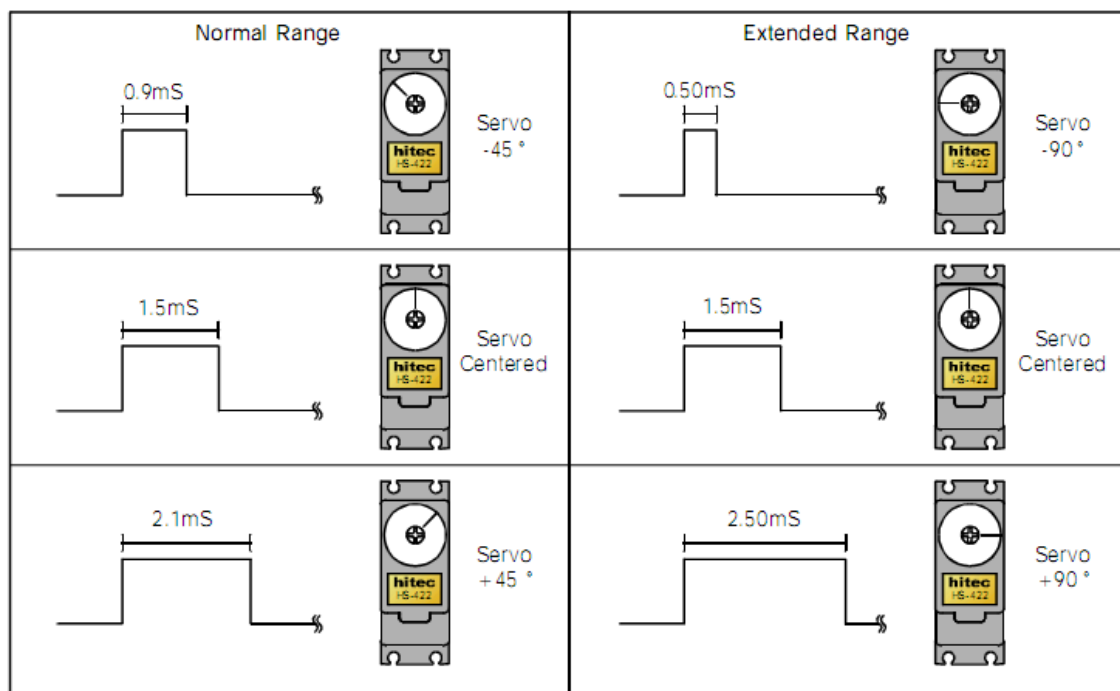


Figura 2.28.- Funcionament de los servos

2.3.3.2.- Placa de control de servos SSC32-1.06XE

Amb la finalitat de poder controlar els servos des de la placa PC/104 es necessita un dispositiu electrònic que sigui capaç de generar el senyal de control de servos (PWM). El model finalment escollit és el SSC32-1.06XE del fabricant Lynxmotion [19]. El seu baix cost, facilitat d'ús i el gran nombre de servos connectables (fins a 32) han estat factors determinants per a la seva adquisició. A més, la seva connexió a través de port sèrie la fa totalment compatible amb el PC/104 . Existeixen dues maneres diferents d'alimentar la placa SSC32 depenent del nombre de servos a controlar i de la necessitat d'alimentar els servos per separat o no.

A continuació es resumeixen les característiques principals d'aquesta placa:

- Connexió mitjançant port sèrie RS-232.
- Control de fins a 32 servos per placa.
- Possibilitat de connectar diverses plaques entre si per controlar fins a 256 servos.
- Facilitat de control.
- Alimentació dels servos independent de la del circuit de control.
- La placa manté l'última posició del servo fins a la següent instrucció.



Figura 2.29.- Placa de control de servos SSC32-1.06XE

2.3.3.3.- Sintaxi de les comandes

Amb la finalitat de controlar la SSC32 mitjançant el port sèrie, és necessari l'enviament de dades de control. El port sèrie ha d'estar configurat com 8N1 (8 bits de dades, sense paritat i 1 o més bits de stop). La velocitat del port es pot seleccionar mitjançant els jumpers BAUD; és

recomanable tenir-lo activat i configurar-lo a una velocitat de 9600 bps, ja que per defecte la velocitat de transmissió és de 2400 bps. Un dels possibles formats d'enviament de control de dades és el conegut com format binari. Aquest mètode consisteix en l'enviament d'una trama de 3 bytes amb la següent estructura, #Byte1, Byte2, Byte3 on:

Byte1: el bit de sincronisme té el valor 255 i és fix.

Byte2: és el bit que ens permet seleccionar el nombre de servo, de 0 a 31 per a una sola placa.

Byte3: aquest en concret ens permet seleccionar la posició. Cada increment d'aquest byte correspon a un increment de 0.36° ($4\mu\text{s}$ de pols) del servo si està configurat per a servos de 90° , i de 0.72° ($8\mu\text{s}$ de pols) si està configurat en manera rang extra (servos de 180°).

Moviment del servo # <ch>P <pw>S <spd>T <time> <cr>	
Sortida discreta # <ch> <lvl> <cr>	
Pols de offset # <ch> PO <offset value> <cr>	
Sortida de byte # <bank>: <value> <cr>	
Petició d'estat del moviment Q <cr>	
Petició de l'amplada de pols QP <arg> <cr>	
Descripció	
<ch>	Nombre de canal en decimal, 0 - 31
<pw>	Amplada de pols en μsegons , 500 - 2500
<spd>	Velocitat de moviment, per canal
<time>	Temps en ms per a el moviment complet, tots els canals
<lvl>	Nivell lògic del canal, 'H' per a alt i 'L' per a baix
<offset value>	De 100 a -100 μs
<bank>	0 = Pins 0 - 7, 1 = Pins 8 - 15, 2 = Pins 16 - 23, 3 = Pins 24 - 31
<value>	Valor decimal de sortida per a l'elecció del banc (0 - 255)
<cr>	Caràcter de retorn de càrrega
<esc>	Cancel·la comanda actual

Taula 2.17.- Comandes de la placa de servos SSC-32

2.3.3.4.- Interconnexió

Les connexions de la placa de control de servos SSC-32 es mostren en la següent figura, en la que també s'ensenya una petita descripció de les mateixes:

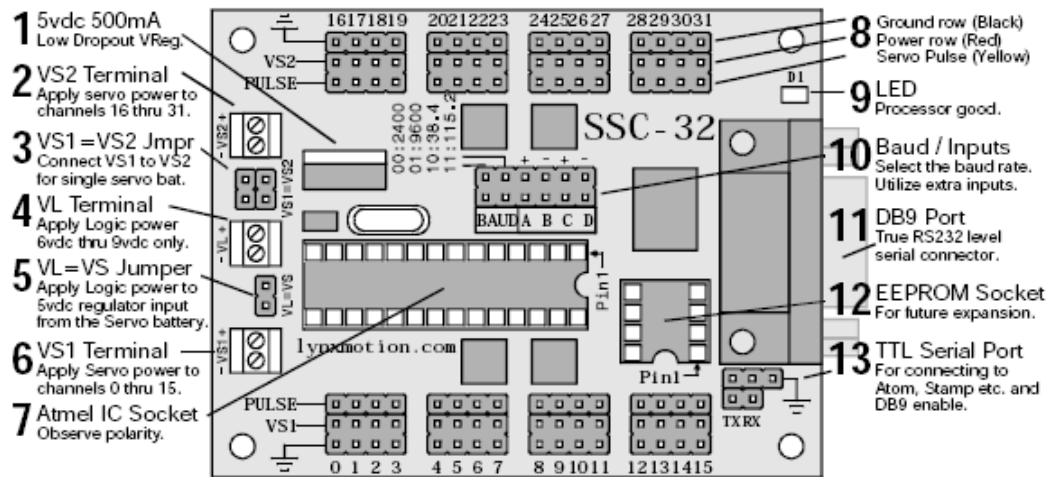


Figura 2.30.- Connexions de la placa de control de servos SSC-32

Una descripció més detallada de les connexions de la SSC-32 es mostra a continuació a la Taula 2.19, la qual la numeració de cadascuna d'elles fa referència a la presentada a la figura anterior per facilitar, d'aquesta manera, la seva localització. A més, la figura següent il·lustra alguna de les configuracions possibles de diversos connectors.

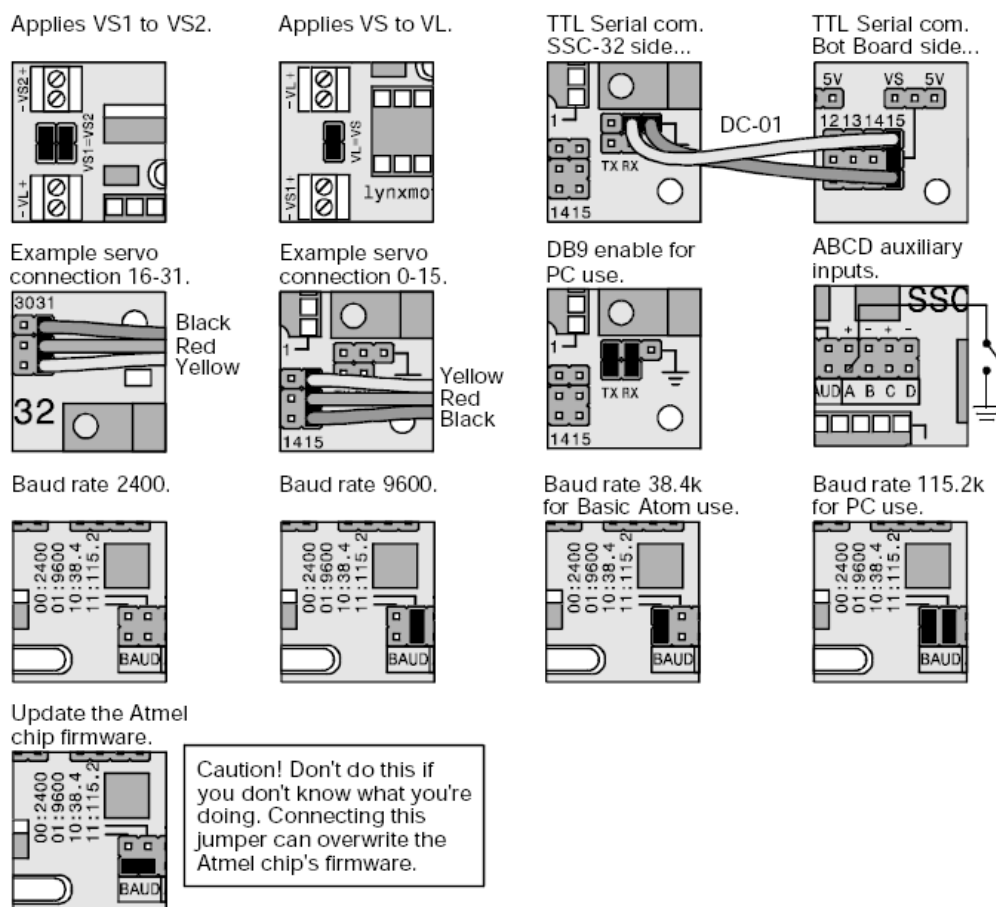


Figura 2.31 Configuració de connectors de la placa de control de servos SSC-32

Numeració	Codi	Descripció
1	5vdc 500mA	El regulador de baix nivell de pèrdua proporciona una sortida de 5 VDC amb una entrada tan petita com 5,5 VDC. Accepta una entrada màxima de 9 VDC. El regulador està pensat per a 500 mA, però s'ha regulat a 250 mA per a prevenir-lo del sobreescalfament.
2	VS2 Terminal	Aquest terminal connecta l'alimentació en els canals dels servos 16 – 31. Per a servos convencionals s'apliquen de 4,8 VDC a 7,2 VDC.
3	VS1=VS2 Jmpr	Aquests jumpers s'utilitzen per a connectar VS1 amb VS2. S'utilitza aquesta opció quan s'alimenten els servos amb la mateixa bateria. S'han d'utilitzar ambdós jumpers.
4	VL Terminal	Aquesta es la entrada de l'alimentació de la electrònica, també pot referir-se amb el Voltatge Lògic (VL). Aquesta entrada s'utilitza normalment amb un connector de bateria de 9 VDC per a proporcionar alimentació als circuits integrats (ICs) i a qualsevol element connectat a les línees de la placa de 5 VDC. A més, aquesta entrada s'usa per a aïllar la lògica de la placa de la entrada d'alimentació dels servos.
5	VL=VS Jumper	Aquest jumper permet alimentar el microcontrolador i els circuits de suport a partir de l'alimentació dels servos. Requereix al menys 6 VDC per a operar correctament. Si el microcontrolador se li fa un reset quan algun dels servos està en moviment, es necessari alimentar al microcontrolador de manera separada utilitzant l'entrada VL. Una bateria de 9 VDC és la més adequada per aquest.
6	VS1 Terminal	Aquest terminal connecta l'alimentació en els canals dels servos 0 – 15. Per a servos convencionals s'apliquen de 4,8 VDC a 7,2 VDC.
7	Atmel IC Socket	En aquest sòcol es on es posiciona el chip Atmel IC. S'ha de tenir en compte que el Pin 1 de la cantonada superior dreta està pintat per a facilitar la correcta col·locació.
8	Servo	Aquí es on es connecten els servos (o altres dispositius de sortida). Es deu utilitzar amb precaució i desconnectar l'alimentació quan es connecta alguna cosa al bus E/S.
9	LED	Aquest LED indica l'estat del processador. S'encén quan s'aplica l'alimentació, quedant encès fins que el processador rep una comanda sèrie vàlida.
10	Baud/Inputs	Les dues entrades BAUD permeten configurar la velocitat de transferència. Les entrades ABCD tenen suport estàtic i bloqueig. Les entrades tenen una resistència interna (50 kΩ) que s'utilitza quan s'usa l'entrada de lectura digital. Un interruptor obert connectat des de l'entrada a massa funciona correctament.
11	DB9 Ports	Tan sols es necessari connectar un cable DB9 des d'aquest terminal a un Port lliure del PC per a que la SSC-32 rebí les dades de les posiciones dels servos.
12	EEPROM Socket	Aquest sòcol EEPROM de 8 pins no s'utilitza en la versió de la nostra placa SSC-32, però pot resultar útil per a futures actualitzacions.
13	TTL Serial Port	S'utilitza per a habilitar el Port sèrie TTL o el DB9. S'han d'instal·lar dos jumpers per a habilitar el Port DB9 o dos cables connectors per a utilitzar la comunicació sèrie TTL de un microcontrolador amfitrió.

Taula 2.18.- Descripció de las connexions de la placa de control de servos SSC-32

Les connexions més importants a tenir en compte són, per tant, les d'alimentació de la placa SSC-32, dels servos i les de comunicació amb la CPU. Així doncs, tenint en compte que els servos utilitzats en la nostra aplicació sumen 2, l'alimentació dels servos es realitza a través del connector VS1, que alimenta els canals dels servos 0 - 15, quedant els canals de 16 a 31 no alimentats.

En conseqüència, els VS1=VS2 jumper no es col·loquen. L'alimentació de la lògica i dels servos es fa de manera conjunta, així que el jumper VS=VL si s'ha de posicionar. La comunicació de la SSC-32 amb la CPU PC/104+ es realitza a través de l'interfície RS-232 i,

igual que passa amb la brúixola electrònica i el receptor GPS, aquesta comunicació és bidireccional (la SSC-32 rep comandes i envia dades via comunicació sèrie); els jumpers que habiliten el port DB9 (TX i TR) han d'instal·lar-se per a poder utilitzar aquesta interfície de comunicació. La velocitat de transferència del port pot ser configurada per l'usuari a través dels dos jumpers BAUD, comentats anteriorment, la configuració necessària dels quals, per les diferents velocitats pot veure's en la taula següent.

00	2400
01	9600
10	38,4 k
11	115,2 k

Taula 2.19.- Configuració dels jumpers de selecció de la velocitat de transferència

2.4.- Sistema de comunicacions

2.4.1.- Característiques dels ràdio – mòdems

Els mòdems són necessaris per realitzar la transmissió de dades entre dos o més ordinadors. Aquests dispositius s'encarreguen de convertir el flux de dades digitals en banda base a un senyal analògic apropiada per ser transmesa, i viceversa. Per tant, els mòdems serveixen per modular i desmodular (en amplitud, freqüència, fase o altre sistema) un senyal anomenat portadora mitjançant un altre senyal d'entrada anomenat moduladora.

El mitjà de transmissió dels mòdems pot ser guiat o no guiat. Els mòdems que es comuniquen mitjançant cable (UTP, coaxial, fibra òptica, etc.) són els que utilitzen un mitjà de transmissió guiat, mentre els que es comuniquen a través de l'aire (ràdio enllaç, ràdio difusió, enllaços via satèl·lit, infrarojos, làser, etc.) utilitzen un mitjà de transmissió no guiat.

Els mòdems utilitzats en el nostre sistema de comunicació entre el vehicle i l'estació de control no poden, òbviament, utilitzar un mitjà de transmissió guiat, ja que aquest no seria factible. El mitjà de transmissió que més s'ajusta a la nostra aplicació és el ràdio enllaç, per tant, s'utilitzen ràdio-mòdems. Aquests mòdems es comuniquen a través d'ones de ràdio, aquestes són unes ones electromagnètiques que estan compreses entre una freqüència de 10 kHz a 300 GHz. En la Figura 2.32 pot veure's l'espectre electromagnètic i la situació de les ones de ràdio en el mateix [20].

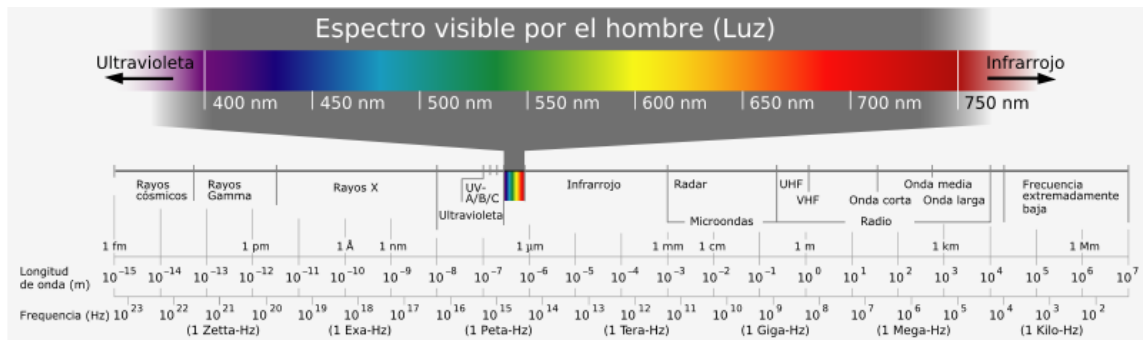


Figura 2.32.- Espectre electromagnètic

Les ones de ràdio cobreixen un espectre de freqüència molt ampli; aquest fet fa que aquestes es subdivideixin tal i com es mostra en la següent taula:

Sigla	Denominació	Longitud d'ona	Gama de freqüències	Ús típic
VLF	<i>Very Low Frecuencias</i>	30000 m a 10000 m	10 kHz a 30 kHz	Enllaços de ràdio a gran distància
LF	<i>Low Frecuencias</i>	10000 m a 1000 m	30 kHz a 300 kHz	Enllaços de ràdio a gran distància, navegació aèrea y marítima
MF	<i>Medium Frecuencias</i>	1000 m a 100 m	300 kHz a 3 MHz	Radiodifusió
HF	<i>High Frecuencias</i>	100 m a 10 m	3 MHz a 30 MHz	Comunicacions de tot tipus a mitja i llarga distància
VHF	<i>Very High Frecuencias</i>	10 m a 1 m	30 MHz a 300 MHz	Enllaços de ràdio a curta distància, televisió, freqüència modulada
UHF	<i>Ultra High Frecuencias</i>	1 m a 10 cm	300 MHz a 3 GHz	Enllaços de ràdio, navegació aèrea, radar, televisió
SHF	<i>Super High Frecuencias</i>	10 cm a 1 cm	3 GHz a 30 GHz	Radar, Enllaços de ràdio
EHF	<i>Extra High Frecuencias</i>	1 cm a 1 mm	30 GHz a 300 GHz	

Taula 2.20.- Espectre radioelèctric

Els ràdio-mòdems han d'estar preparats per transmetre en un entorn més hostil que els mòdems els quals el seu sistema de transmissió es guiat. El fet d'utilitzar com sistema de transmissió l'aire fa que apareguin problemes tals com:

- Soroll e interferències.
- La qualitat del senyal pot variar en l'espai i el temps.
- El medi de transmissió es compartit per altres xarxes inalàmbriques.
- Inseguretat en la privacitat de les dades.
- Pèrdua de velocitat en comparació a una connexió amb cables.
- Menor fiabilitat respecte una connexió amb cables.

Per tal d'arreglar aquests problemes, s'utilitzen mecanismes de modulació diferents als utilitzats en els mòdems convencionals de cable. A més a més, els ràdio-mòdems requereixen una sèrie de modificacions i millores per funcionar de manera adequada; algunes d'aquestes es descriuen a continuació.

2.4.1.1.- Bandes de freqüència

Els mòdems típics, per transmetre sobre el par telefònic, utilitzen portadores que s'acomoden en els 4 kHz d'ample de banda telefònic, si exceptuem els moderns mòdems d' ADSL. Els mòdems de cable, per altre banda, utilitzen freqüències que es solapen amb els canals VHF i UHF de difusió de televisió. D'altra banda, els ràdio mòdems solen utilitzar freqüències superiors que tenen llicència per transmissions inalàmbriques. En la Figura 2.33 es mostra precisament quines són aquestes bandes de freqüència.

Normalment, s'utilitza un convertidor de freqüència per col·locar els canals de FI (Freqüència Inter mitja) del ràdio-mòdem en aquestes bandes. A més a més, són típics esquemes de multiplexació conjunts FDMA/TDMA (*Frequency Division Multiple Access / Time Division Multiple Access*) de forma similar a com es realitza en el sistema de telefonia mòbil GSM (Sistema Global per les Comunicacions Mòbils) per compartir de forma eficient l'espectre radioelèctric entre un conjunt d'usuaris. D'aquesta manera, sobre cada sub -canal de ràdio (FDMA) es transmeten diferents slots de temps (TDMA).

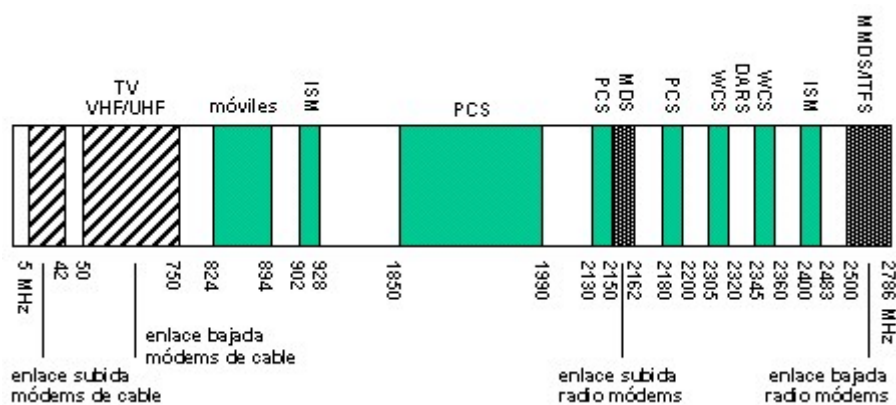


Figura 2.33.- Bandes de freqüència

2.4.1.2.- Tolerància de freqüència i seguiment de la portadora

En un sistema de cable, la freqüència del senyal del mòdem de cable és idèntica a la que s'ha de desmodular en la capçalera de xarxa. Si es produeix una desviació de freqüència de 30 ppm, la

qual suposa 600 Hz per una portadora de 20 MHz, el senyal encara es troba prou centrada i es pot desmodular correctament. D'altra manera, en un sistema inalàmbic les freqüències es converteixen a les bandes MDS (*Multichannel Distribution System*), i una tolerància de 30 ppm es tradueix en un desplaçament de fins a 64 kHz. Un modulador típic tindria dificultats per recuperar la senyal, ja que l'estàndard DOCSIS (*Data Over Cable Service Interface Specification*) especifica que la portadora ha de trobar-se dins d'un ample de banda de 30 kHz. Per corregir aquest problema, els ràdio-mòdems implementen un mecanisme de busca i captura de la portadora per mitjà de bucles de fase, comunament coneguts com PLLs (*Phase Locked Loop*), i que segueixen la senyal en rangs de 30 a 150 kHz.

2.4.1.3.- Potència transmesa i marge dinàmic

Qualsevol desmodulador posseeix un marge dinàmic limitat en el qual poden funcionar correctament. El senyal de l'enllaç de pujada deu estar contingut dins del marge dinàmic del desmodulador de capçalera. Això inclou variacions en el nivell de potència del senyal degudes al guany de les antenes, pèrdua de senyal per vegetació o precipitacions i efecte multi camí. Els mòdems DOCSIS s'especifiquen amb un rang de 12 dB de tolerància, mentre que els ràdio-mòdems posseeixen un marge superior: típicament 20 dB. Addicionalment, es necessari executar un algoritme inicial perquè el ràdio mòdem localitzi el nivell de potència adequat per començar a funcionar. S'ha de tenir en compte que aquest nivell es molt dependent de las característiques del entorn on es vagi a treballar.

2.4.1.4.- Equalització

Com ja s'ha comentat amb anterioritat, durant la propagació, el senyal de ràdio pateix variacions d'amplitud i de fase que es necessari corregir en el receptor. Aquests canvis deuen corregir-se i compensar-se dinàmicament. Es per això que els ràdio-mòdems disposen d'equalitzadors en temps real que modifiquen el seu guany o introdueixen retards de forma dinàmica en funció de les condicions del medi. Normalment s'implementen per mitjà de processadors digitals de senyal (DSPs). Per realitzar les correccions, és necessari disposar d'alguna senyal de referència en el receptor. En el cas de l'estàndard GSM, es transmet periòdicament una seqüència de bits coneguda que s'utilitza per calcular els coeficients del filtre adaptatiu de l'equalitzador.

2.4.1.5.- Efecte multi camí

La propagació multi camí no existeix en els sistemes de cable, per altre banda, en els sistemes de radiocomunicacions es converteix en un dels principals problemes. Es produeix com a

conseqüència de les reflexions del senyal que es combinen a l'entrada de l'antena i que donen lloc a degradacions en el nivell de potència o distorsió del senyal. En particular, un camí secundari del senyal lleugerament major pot ocasionar la cancel·lació completa del trajecte principal. En els ràdio-mòdems encara es més perjudicial, donat que com solen disposar de mobilitat, és possible que en certes posicions es produeixi la reflexió en algun obstacle inesperat.

2.4.1.6.- Esquemes de modulació

A més de les diferents característiques mencionades anteriorment, la principal diferència dels ràdio mòdems es refereix els esquemes i velocitats 16QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) o 64QAM per l'enllaç de baixada. Conforme disminueix la complexitat de la modulació, s'aconsegueix una major immunitat en front a pèrdua de senyal i efecte multi camí, encara que a costa de reduir-se la taxa de transmissió. El mateix succeeix amb la velocitat de modulació.

A més a més, menors velocitats suposen amples de banda inferiors, la qual cosa afecta a la sensibilitat de la capçalera i, per tant, a la distància del sistema. En particular, les modulacions de fase són més adequades per la propagació de senyals sobre entorns de ràdio. La modulació QPSK és la més robusta, necessitant únicament d'una relació senyal soroll de 13 dB.

Per altre banda, la modulació 64QAM aconsegueix una eficiència espectral tres vegades superior, encara que a costa de necessitar una relació senyal soroll de 27 dB per aconseguir la mateixa probabilitat d'error (BER).

En la Figura 2.34 es representen les constel·lacions de les tècniques de modulació QPSK i 16QAM, junt amb la codificació que correspon a cada símbol transmès. Observis que conforme augmenta el nombre de símbols per una mateixa potència transmesa, augmenta la probabilitat d'error com conseqüència de que es troben més pròxims entre sí i són més difícils de discernir en presència de soroll.

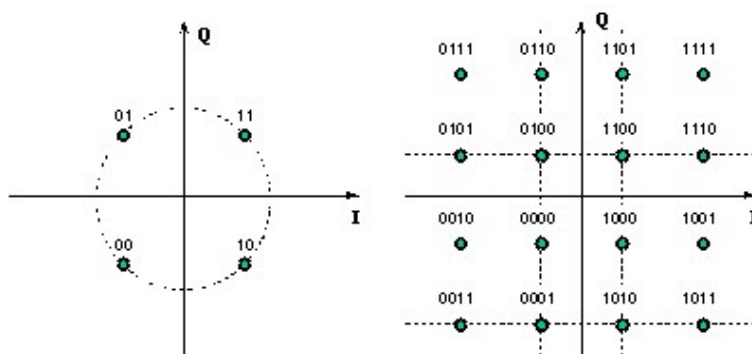


Figura 2.34.- Constel·lacions de les modulacions QPSK i 16QAM amb codificació Gray

2.4.1.7.- Ràdio-mòdems Sateline-1870

L'objectiu que tenen els ràdio-mòdems en aquest sistema es el de comunicar el segment aigua amb el segment terra, enviant la telemetria captada pels sensors (brúixola electrònica i receptor GPS) de la plataforma del vaixell a l'estació de seguiment. Aquestes dades són de vital importància a l'hora de conèixer, des de l'estació de seguiment, si els controls dissenyats per actuar sobre l'estabilitat i el posicionament del vaixell funcionen de manera correcta. Per tant, el ràdio-mòdem col·locat en el vaixell serà el transmissor i el situat a l'estació de seguiment el receptor.

Els ràdio-mòdems escollits per formar part del vehicle dissenyat són dos Sateline-1870 de la casa SATEL [21], un d'ells pot veure's a la Figura 2.35 . Els requisits de mida i pes no serien els mateixos pel ràdio-mòdem receptor i el transmissor, però per afavorir la màxima compatibilitat entre els dos s'ha optat per escollir dos models completament iguals. A l'hora de seleccionar els ràdio-mòdems, s'han tingut en compte els requisits del que ha d'anar dins del vaixell, el ser aquest el més restrictiu. Així doncs, el ràdio-mòdem Sateline és petit, econòmic i de consum baix d'energia.



Figura 2.35.- Ràdio-mòdem Sateline-1870 de SATEL

El Sateline-1870 utilitza la banda de freqüències pana europea gratuïta 868 MHz – 870 MHz. Aquesta banda de freqüències forma part de la banda UHF de l'espectre radioelèctric i està dividida en sub-bandes, d'acord amb la potència de sortida i el cicle de treball permès per l'emissor. El canviar la freqüència, l'usuari no deu preocupar-se sobre limitacions de potència de sortida; el mòdem configura automàticament aquesta potència d'acord amb les regulacions. Degut a la limitada potència de sortida, les distàncies de comunicació se situen entre 2 km i 5 km com a màxim, depenen del entorn. El ràdio-mòdem Sateline-1870 és compatible amb d'interfície RS-232 i es pot connectar a un terminal amb un cable cinta o mitjançant cablejat d'un connector DB9. Les configuracions d'aquest ràdio-mòdem poden modificar-se mitjançant comandes en mode de comunicació normal o a través d'un terminal extern en el mode de programació. El software del Sateline-1870 resideix en una memòria flash, que és fàcil de reprogramar amb un equip de programació adequat. Les opcions del ràdio-mòdem que poden ser modificades per l'usuari es mostren en la taula següent, a més de la seva configuració per defecte.

Opcions ajustables	Configuració per defecte
Ajustaments de ràdio	Potencia de sortida = 100 mW, llindar RSSI -113 dBm
Direccionament	Tots els modes de direccionament estan ajustats en OFF
Port de sèrie 1	9600 / 8 bit de dades / No paritat / 1 bit de stop
Negociació	CTS (Clear To Send) / RTS Ignorat
Opcions addicionals	Revisió d'error OFF / Repetidor OFF / Comandos SL OFF / Prioritat Ràdio TX ON / Límit longitud trama de ràdio OFF
Tests	OFF

Taula 2.21.- Opcions ajustables i configuració per defecte del ràdio-mòdem Sateline-1870

Les especificacions del ràdio-mòdem Sateline-1870 es mostren de manera detallada a la Taula 2.22. Tot i així, com a resum, les característiques més importants del ràdio-mòdem són les següents:

- La velocitat de dades del és 9,6 kbits/s.
- L'interfície DTE dels és elèctricament compatible amb l'interfície sèrie RS-232. Estan en ús les línies RD, TD, RTS, CTS, DTR i DSR.
- El software es pot actualitzar mitjançant un connector de servei que s'utilitza en un PC i un dispositiu especial de programació.

RÀDIO										
Rang de freqüència	868 MHz – 870 MHz (programable)									
Espai de canal	25 kHz									
Nombre de canals	82									
Estabilitat de freqüència	+2,5 kHz / -2,5 kHz									
Tipus de emissió	F1D									
Mode de comunicació	Comunicació semidúplex									
TRANSMISOR										
Potència portadora	5, 10, 25, 50, 100 mW / 50 Ω									
Estabilitat de potència portadora	+1 dB / -1 dB									
Potència de canal adjacent	< -38 dBm									
Radiacions espúries	< -40 dBm									
RECEPTOR										
Sensibilitat	< -106 dBm (BER 10E-3)									
Rebuig de canal comú	> -10 dB									
Selecció de canal adjacent	> 45 dB									
Radiacions espúries	< 2 nW									
MODEM										
Interfície	RS-232									
Connector de interfície	DIN41651-16-pin (mascle)									
Velocitat de transmissió de la	300 – 19200 bit/s (programable) 9600 bit/s									
- Interfície RS										
- Interfície de ràdio										
Format de dades	Asíncrono RS-232									
ANTENA										
Radiació	Omnidireccional									
Freqüència	868 MHz – 870 MHz									
Distància	±2 km									
Connexió	SMA, 50 Ω, mascle									
Longitud	169 mm									
Peso	35 g									
GENERAL										
Tensió d'alimentació	+8 a +30 Vdc									
Consum de potència (mitjà)	Entrada DC (V)	Mode, consum de corrent (mA)								
		Receptor	Transmissor		Estalvi d'energia	Standby				
			5 mW	100 mW						
			8	84			140	190	14	0,07
			12	65			90	130	12	0,07
30	30	45	55	10	0,07					
Rang de temperatura operant	-20 a +50°C									
Connector de antena	SMA, 50 Ω, femella									
Carcassa	Carcassa d'alumini									
Mida K x L x S	57 x 125 x 16 mm									
Placa d'instal·lació	TBD									
Pes	125 g									

Taula 2.22.- Especificacions del ràdio-mòdem Sateline-1870

2.4.1.8.- Interconnexió

Per alimentar els ràdio-mòdem Sateline-1870 de manera correcta és necessari connectar els cables de potència, dels dos ràdio-mòdem, a l'alimentació on la seva tensió de sortida ha d'estar entre 8 i 30 VDC, mentre que la corrent de sortida ha de ser 200 mA com mínim.

La connexió entre els ràdio-mòdem transmissor i receptor a la CPU PC/104+ i el PC utilitzat en l'estació de seguiment, respectivament, es realitza a través de l'interfície RS-232. Les opcions bàsiques pels ports sèrie utilitzats en els dos PC's són les següents: COM1, 9600 bps, 8 bits de dades, ninguna paritat i 1 bit de stop. Si el port sèrie dissenyat com COM1 en els ordinadors està reservat, cap altre port sèrie lliure pot ser utilitzat amb les opcions anomenades. Aquesta connexió bàsica entre un ràdio-mòdem i el port COM1 d'un PC es representa a la figura següent.

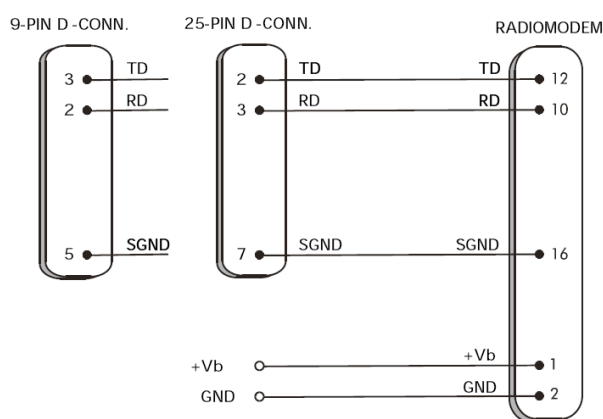


Figura 2.36.- Connexió entre un ràdio-mòdem i el Port sèrie de un PC

El ràdio-mòdem es designa com DCE (*Data Communication Equipment*), mentre que el PC és anomenat DTE (*Data Terminal Equipment*). El Satelline-1870 inclou un connector mascle de 16 pins tipus DIN41651 que conté totes les connexions necessàries per establir la comunicació entre el ràdio-mòdem que actua com DCE i el PC que actua com DTE.

La configuració dels pins del terminal DIN41651 del Satelline-1870 es descriu a la Taula 2.24, després de la Figura 2.37 que ens mostra un esquema del terminal DIN41651 de 16 pins (mascle), on s'especifica l'ordre d'aquests. La direcció IN que apareix a la Taula 2.24 es defineix des de el DTE (PC) fins el DCE (ràdio-mòdem), viceversa per la direcció OUT.

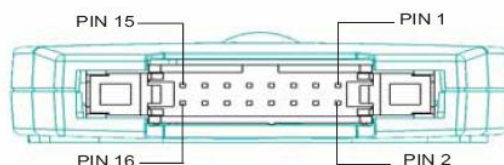


Figura 2.37.- Connector DIN41651 de 16 pins (mascle)

Pin	Direcció	Nombre	Descripció
9	OUT	DSR	Indica que el ràdio mòdem està connectat (ON) (connexió interna al pin DTR)
10	OUT	RD	Recepció de dades. Sortida de les dades rebudes. Les dades van del ràdio-mòdem al DTE
11	IN	RTS	Petició per a enviar
12	IN	TD	Transmissió de dades. Entrada de les dades per a ser transmesos del DTE al ràdio mòdem
13	OUT	CTS	Llest per a enviar
14	IN	DTR	Terminal de dades preparat. Quan la línia DTR no està connectada, el ràdio-mòdem està encès (ON). Si el pin DTR està connectat a terra (GND / SGND), el ràdio-mòdem està en mode STAND-BY
1	DC	Vb	Tensió d'alimentació DC
2	DC	GND	Terra DC
3		AUX IO1	No connectat
4	OUT	AUX IO2	No connectat
5	IN	AUX IO3	No connectat
6	IN	SHDN	Potència del mòdem baix, actiu connectat a terra, tracció interna
7	IN	PROG	Mode d'operacions. Quan la línia PROG està connectada a terra (GND), el ràdio mòdem entra en el mode de programació (<i>Programming Mode</i>) que s'usa si es vol canviar els ajustos del ràdio-mòdem. Si la línia PROG no està connectada, el ràdio-mòdem entrarà en el mode de transmissió/recepció de dades (<i>Data Transfer Mode</i>). El mode de programació s'utilitza només quan s'instal·la un mòdem o quan es canvien els paràmetres d'un mòdem. Normalment el ràdio-mòdem està sempre en el mode de transferència de dades
8		NC	No connectat
15		NC	No connectat
16	IN	SGND	Senyal de terra

Taula 2.23.- Configuració dels pins del connector DIN41651 del ràdio-mòdem Sateline-1870

En quan al enllaç de ràdio freqüència entre els dos ràdio-mòdem, primer dir que la connexió de l'antena del ràdio-mòdem amb aquest mateix, es realitza a partir d'un connector RF del tipus SMA (femella) amb una impedància de 50 Ω . L'usuari pot canviar la freqüència del ràdio-mòdem en tot el rang de freqüència (868 - 870 MHz) del dispositiu. Però, la velocitat de transmissió de dades de l'interfície de ràdio és sempre fixa (9600 bit/s) independentment de la velocitat de transmissió de dades de l'interfície de sèrie. En el cas en que la velocitat de transmissió de dades del dispositiu terminal supera la capacitat de velocitat de transmissió de dades de l'interfície de radi (aproximadament 9600 bit/s), el mòdem emmagatzema les dades per impedir les pèrdues d'elles.

2.5.- Sistema de propulsió

El sistema de propulsió, tal i com s'ha explicat anteriorment, consta d'un motor el qual s'encarrega de posar en marxa el vaixell i un timó que s'encarrega de la maniobrabilitat del vehicle.

Aquest sistema es la unió entre el control i l'actuació, és a dir, la propulsió s'encarrega de d'ur a terme les senyals que provenen de la CPU, i posar-les en funcionament.

2.5.1. Regulador de velocitat

El motor que s'utilitza en aquest projecte, es un motor controlat per PWM (Pulse Width Modulation [22]. Per tant, s'ha de col·locar un element que s'encarregui de generar un tren de polsos, per tal de fer variar la velocitat de gir del motor. Aquest element és el regulador de velocitat Robbe navy control 535 R [23].



Figura 2.38.- Robbe navy control 535R

Les característiques del regulador es poden trobar a la taula 2.24.

Carrega admissible	35 A
Carrega màx. temporal	45 A
Tensió de treball	6 a 15 V
Temperatura de treball	-20°C a 60°C
Pes	62 g
Mides	65x39x18,5mm
Funcions	Endavant, fre, enrere

Taula 2.24.- Característiques del Robbe Navy control 535R

2.5.2.- Motor

El motor, de la casa ROBBE, s'encarregarà de realitzar el moviment del vaixell tan endavant com enrere. Les característiques del motor son les següents:

Robbe Power 600/24, s'alimenta entre 7,2 i 9,6 V amb un corrent màxim de 10 A. La potència mitjana que consumeix el motor en aigua es pot aproximar en uns 14 W. Però si es volgués tenir un màxim rendiment (74%) obtindríem una potència màxima de 25 W.

En les figures següents podem veure el motor muntat i desmuntat.



Figura 2.39.- Motor muntat



Figura 2.40.- Motor desmuntat

A la taula següent podem observar les especificacions de pes i mida:

Diàmetre	38 mm
Pes	220 g
Longitud	57 mm

Taula 2.25.- Especificacions del motor

2.5.3.- Timó

El timó és el dispositiu que s'utilitza per maniobrar un medi de transport que es mou a través d'un fluid. És a dir, es l'element que s'encarrega de la maniobrabilitat.

El timó funciona orientant l'aigua produint un efecte de gir o d'empenyiment. A continuació podem veure la figura del timó.



Figura 2.41.- Timó del vaixell

2.6.- Sistema Elèctric

2.6.1.- Bateria

El model de bateria escollit pel nostre vaixell, són unes bateries de polímer de liti (Li-Po) [24] anomenades CYCLONE, està formada per 2 cèl·lules de 3,7V cada una i té una capacitat de 2200 mA/h.

La relació potència pes que s'aconsegueix utilitzant lipos, a més d'una vida útil bastant llarga, fa que haguem escollit aquest tipus de bateries per alimentar gran part dels elements descrits en aquest capítol.

Les bateries de liti polímer ofereixen millores en autonomia i potència respecte les seves antecessores, com les bateries de níquel-cadmi (Ni-Cd) i les de níquel-hidruro metàl·lic (Ni-MH)[25].

Per altre banda, és d'esperar que l'utilització d'aquests elements no sigui trivial, la qual cosa fa que s'hagin d'estudiar detingudament les normes de seguretat amb la finalitat d'aconseguir un ús satisfactori [26]. Tenint en compte que aquest projecte és un vaixell, la primera norma de seguretat és que no poden interactuar de cap manera amb aigua. D'aquesta manera les bateries estaran dins de les caixes amb tots els sistemes electrònics, per tal de mantenir la màxima seguretat a l'hora de realitzar proves amb aigua.

A continuació podem veure la següent taula, on es descriuen les característiques de les bateries.

Cèl·lules	2 (7.4V)
Capacitat	2200mAh (5C)
Pes	90 g
Mida	86 x 56 x 9.5 mm

Taula 2.26.- Característiques bateries



Figura 2.42.- Bateria Li-Po CYCLONE 7.4V-2200mAh

2.6.2.- Carregador de bateries LIPO

En general, les bateries Li-Po tenen una càrrega molt més lenta que les de Ni-Cd o Ni-MH. A més a més, la càrrega de les bateries de Li-Po no produeix el pic de tensió característic com les de Ni-Cd o Ni-MH en assolir la màxima càrrega, per el que es precisen carregadors especials per a Li-Po.

Sota cap concepte es deuen carregar amb carregadors dissenyats per Ni-Cd o Ni-MH. No només això, mai es deuen descarregar completament com es possible fer-ho amb les de Ni-Cd o Ni-MH, sota risc de deteriorar la seva capacitat de càrrega irreversiblement. Per això, es deuen utilitzar, en models elèctrics, controladors de velocitat especials per a Li-Po, que tallen la corrent per sota d'un determinat voltatge crític. Un últim inconvenient és el preu, en general sobre el doble d'un pack de capacitat equivalent de Ni-MH, encara que el preu va baixant ràpidament amb la seva ràpida introducció en el mercat i l'aparició de noves marques de gran qualitat.

Hi ha carregadors de Li-Po molt senzills en el mercat que són perfectament recomanables. Per exemple, el carregador PROLUX LI-PO 4 (12 V) pot carregar d'un a 4 elements en sèrie, amb corrents de càrrega de fins a 2 A, seleccionable amb un commutador, com es mostra en la Taula

2.27. Aquest carregador respecta perfectament la càrrega màxima admissible i, treballant amb un règim de càrrega 1C, no s'observa escalfament en cap dels elements Li-Po, el que redunda en perllongar el seu temps de vida.

Cèl·lules carregables	4
Detecció del nombre de cèl·lules	Manual o Automàtic
Intensitat de càrrega	500, 1000 o 2000 mA
Tensió d'entrada	12 VDC

Taula 2.27.- Característiques del carregador Li-Po PROLUX LI-PO 4 (12 V)



Figura 2.43.- Carregador de Li-Po PROLUX LI-PO 4 (12 V)

3.- Implementació de l'electrònica del USV

En aquest capítol del projecte, s'explicarà la realització de l'estudi de l'ubicació i connexió dels diferents elements que componen el sistema de control autònom del vaixell, els requeriments necessaris d'alimentació, i previ a l'estudi de la distribució, s'explicaran les característiques del vehicle i es farà una comprovació de l'estanquitat del casc del vaixell.

3.1.- Característiques del vaixell

Com diu el títol del projecte, implementació dels sistemes de navegació del remolcador Amsterdam, el vehicle que utilitzem s'anomena Amsterdam, un remolcador d'altura. Es tracta d'una maqueta d'un vaixell real, fet a escala 1:50. Les característiques del vaixell són un casc en resina ABS monobloc amb una eslora de 1060 mm, una amplada de 280 mm i una alçada de 600mm. A la figura 3.1 es pot veure la maqueta construïda amb tots els accessoris típics de maquetista.



Figura 3.1.- Maqueta del remolcador Amsterdam

En un principi aquesta maqueta està preparada per tenir una funcionalitat mitjançant ràdio control, de fet aquest projecte es crea a partir de la motivació d'un altre previ, on es va realitzar el muntatge de l'estructura del vaixell (construir la maqueta) i la col·locació dels aparells de ràdio control per tal de realitzar proves de navegació.

3.2.- Estanquitat del vaixell

Un dels primers estudis que es va realitzar, va ser la comprovació de l' impermeabilitat del casc del vaixell. Per aquest procés, s'ha utilitzat una piscina, deixant en repòs el vaixell durant aproximadament 24 hores, i finalment, tant el timó com la hèlix, s'han manipulat per garantir una completa estanquitat. A la figura següent es pot veure el procés:



Figura 3.2- Estudi d'estanquitat

L' estudi demostra que el vaixell és completament estanc, però tot i així, al ser un vehicle aquàtic, per seguretat, tots els diferents elements electrònics, aniran en mòduls completament estancs.

3.3.- Ubicació i connexió de l' instrumentació del USV

L' estructura interna del vaixell, no deixa gaire maniobrabilitat, però suficient per col·locar tot el material. A la figura següent podem veure l'espai disponible del qual es disposa.

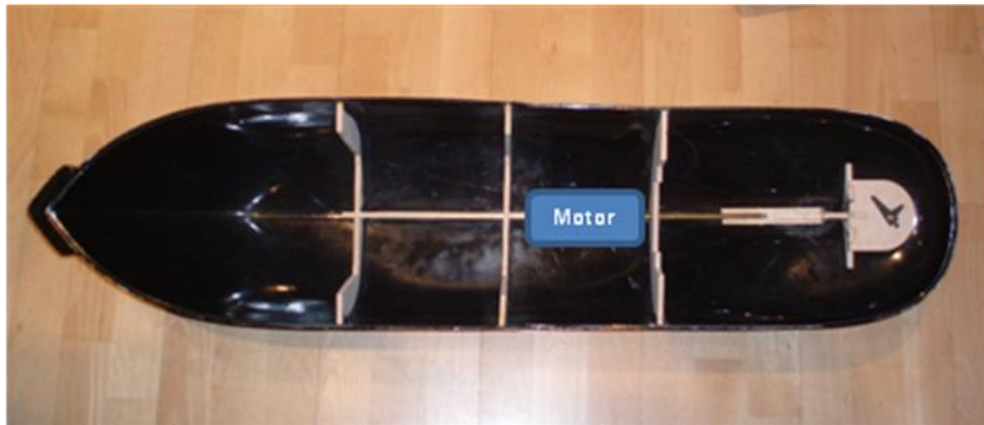


Figura 3.3- Espai lliure del vaixell

Com s'ha explicat, per tal d'assegurar l'estanquitat, s'introduiran tots els diferents elements en caixes que compleixen la normativa IP66, això vol dir, que han de mantenir el seu interior completament sec a 1 metre de profunditat i aïllat totalment d'humitats.

Per tal de facilitar la col·locació de tota l'electrònica, s'utilitzaran 4 mòduls.

- Mòdul 1 : Sistemes de navegació i control (PC104, brúixola i GPS)
- Mòdul 2 : Sistema de control de propulsió, moviment i transmissió (Control de servos, regulador de velocitat i Ràdio-mòdem)
- Mòdul 3 : Sistema de potència (Bateries)
- Mòdul 4 : Sistema de control de potència (Drivers de potència)

A les següents imatges (Figura 3.4. i 3.5.) es pot observar, de manera intuïtiva, a escala la col·locació real del hardware dels mòduls 1 i 2.

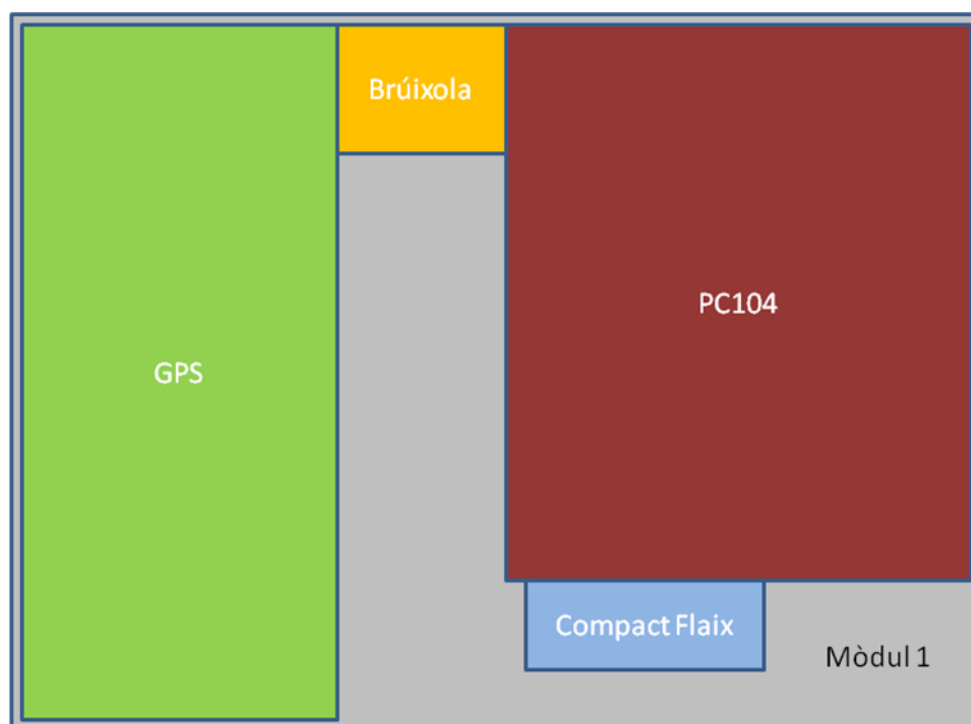


Figura 3.4- Màdul 1 (navegació i control)

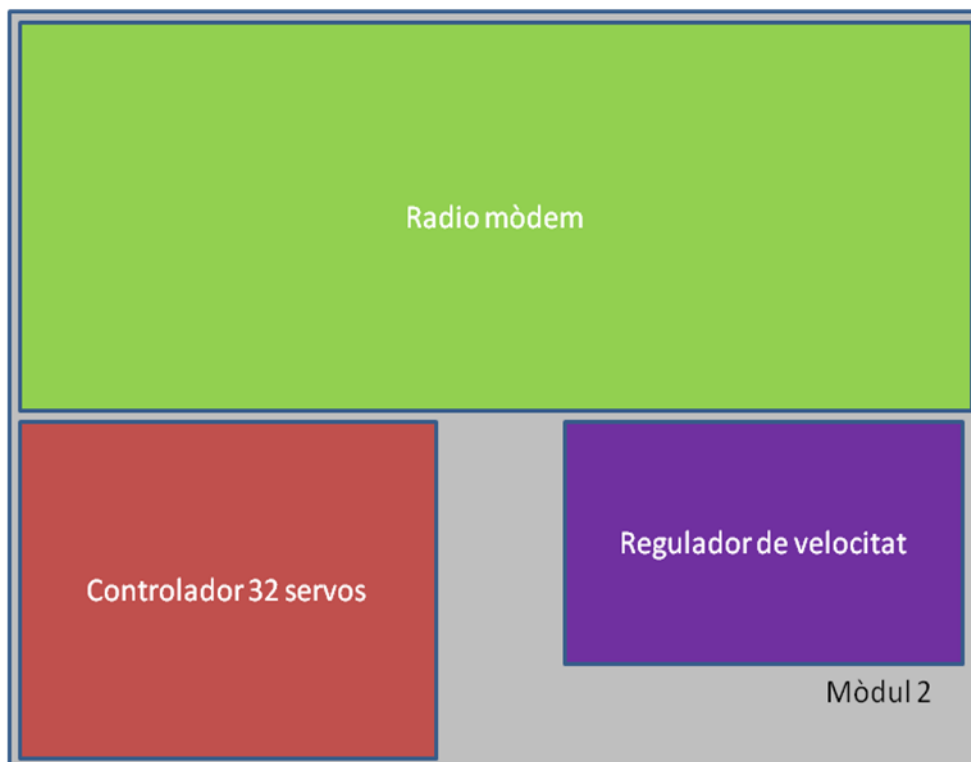


Figura 3.5.- Màdul 2 (propulsió, moviment i transmissió)

D'aquesta manera, podem introduir aquests dos mòduls en el vehicle, quedant tal i com es mostra a la Figura 3.6.

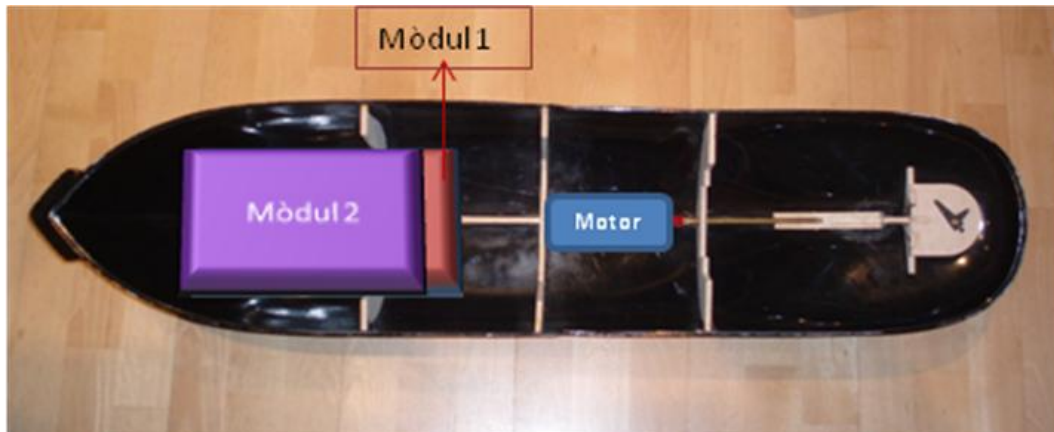


Figura 3.6.- Posicionament dels mòduls 1 i 2.

Avanç de col·locar els mòduls 3 i 4 es convenient explicar els càlculs i requeriments de potència de tots els sistemes.

3.4.- Estudi i requeriments d'alimentació

Prèviament a estudiar els components necessaris per alimentar els diferents dispositius que han d'anar situats en el vaixell, hem de conèixer els consums que aquests precisen. A partir d'aquests consums podem saber la quantitat de bateries necessàries i si és imprescindible o no l'adquisició d'algun convertidor DC/DC, per a ajustar les tensions en contínua que demanden els nostres components. A continuació es mostra el consum típic (nominal) i màxim de cadascun dels components embarcats en el vehicle, classificats segons el sistema al qual pertanyen.

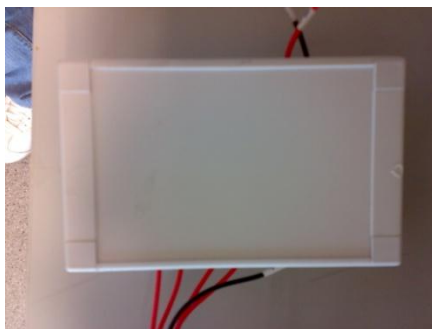
Component	Model	Tensió	Consum típic	Consum màxim	Potència típica	Potència màxima
Sistema de propulsió						
Motor	Robbe power 600/24	7,2-9,6 V	1-4 A	10A	14 W	25 W
Regulador de velocitat	Robbe navy control 535 R	6 -15 V	-	25 A	15 W	250 W
Sistema de navegació i control del vaixell						
Servo	HS-311 Standard	4,8 - 6 V	160 mA	180 mA	760 mW	1.08 W
Mòdul CPU	PM-6100	5 V	0.9 A	2.2 A	4.5 W	11 W
		12 V	-	1.0 A	-	12 W
Brúixola/inclinòmetre	TCM2.6	3,6 – 5 V	< 20 mA	30 mA	72 mW	0.15 W
Receptor GPS + Antena LNA	DG14 Board + AT575-62	5 V \pm 5%	50 mA	160 mA	2,5 W	8 W
Placa de control de servos	SSC-32	4,5 – 9 V	-	250 mA	-	2,25 W
Sistema de comunicació						
Ràdio-mòdem	Satellite 1870	TX 12 V	-	90 mA	-	1.08 W

Taula 3.1.- Resum de l' alimentació dels components electrònics

Després d'analitzar la taula anterior es pot fer una idea dels components que es necessiten per elaborar el sistema d'alimentació. A la mateixa vegada es pot comprovar que es necessiten convertidors DC/DC.

Els pacs de bateries que s'utilitzen en aquest projecte, són de dues cèl·lules que proporcionen 7,4V i una capacitat de 2200mAh, d'aquesta manera s'ajunten 3 pacs de bateries en sèrie per tal d'aconseguir 22,2V, els quals s'encarregaran d'alimentar gran part de tot el sistema.

Els convertidors DC/DC són els dispositius que transformen tensió continua d'una tensió a una altra. Solen ser reguladors de commutació, donant a la seva sortida una tensió regulada i, la majoria de les vegades, amb limitació de corrent. Existeixen principalment 2 tipus de convertidors de potència: si la tensió contínua d'entrada és major (convertidor Buck-reductor) o menor (convertidor Boost-elevador) que la tensió continua de sortida. En el cas del vaixell, utilitzarem 4 reductors Buck, que converteixen 22,2V procedents de 3 pacs de bateries als 5V o 12V requerits pels sistemes.

**Figura 3.7.-** Caixa dels convertidors de potència

A la figura 3.8. es pot observar l'esquema de connexió del sistema de potència.

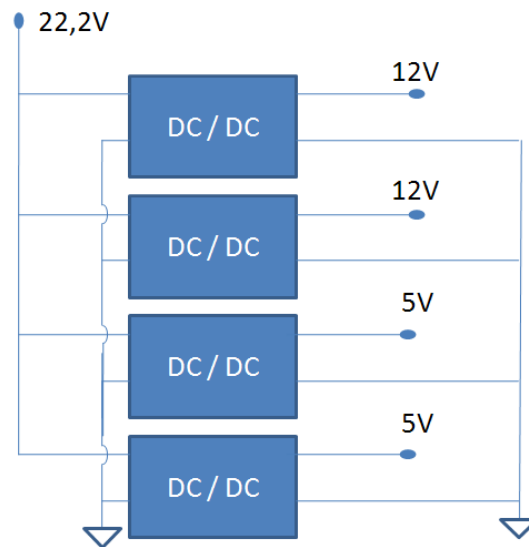


Figura 3.8.- Esquema de les connexions

A la figura 3.9. s'obté una idea clara dels convertidors utilitzats en l' USV i de les tensions i corrents que són capaces de generar. Tots els existents pertanyen a la casa MORNSUN [28], i van ser triats per les seves més que òptimes dimensions.

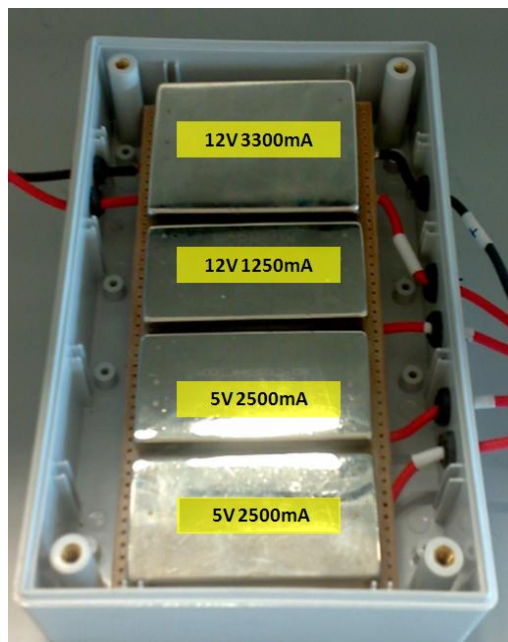


Figura 3.9.- Convertidors utilitzats

A la taula següent trobem una comparativa entre els convertidors escollits i el corrent exigida pel hardware al que es connecta.

Convertidor	Hardware connectat	Corr. Exigida / Entregada (mA)
12V superior	PC104	900 / 3300
12V inferior	Ràdio-mòdem	90 / 1250
5V superior	GPS y Brúixola	190 / 2500
5V inferior	Placa servos y PC104	1050 / 2500

Tabla 3.2.- Comparativa de potències

En la taula 3.2. es pot comprovar en la columna de relació entre corrent exigida enfront entregada, com en cap dels casos es supera ni tan sols el 50% entre ambdós valors, amb el que es pot afirmar que els convertidors són capaços d'oferir aquests corrents sobradament.

Amb aquesta informació, es disposa el disseny d'alimentació dels sistemes del USV.

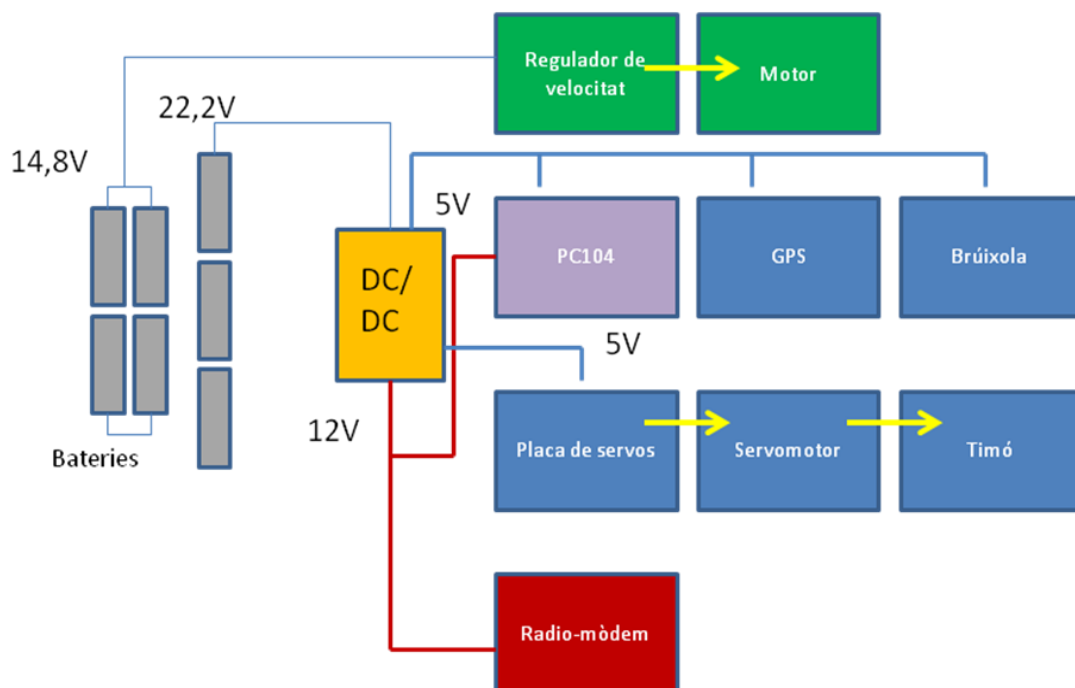


Figura 3.10.- Sistema elèctric complet

Com es pot veure a la figura anterior el sistema de propulsió no es connecta els convertidors, donat que requereix, com es pot veure a la taula 3.1., una alimentació superior. Per aquest motiu s'utilitzen 4 pac de bateries complementaris. Les característiques d'aquest pac són, dues

bateries en sèrie unides a un altre parell en paral·lel, per tal d'aconseguir una tensió de 14,8V i 4400mAh de capacitat, proporcionant suficient potència per alimentar el regulador de velocitat i el motor.

3.5.- Ubicació del sistema de potència

Una vegada realitzat l'estudi d'alimentació, ja es poden ubicar dins del vaixell els mòduls 3 i 4, quedant de manera esquemàtica com ens mostra la figura 3.11.

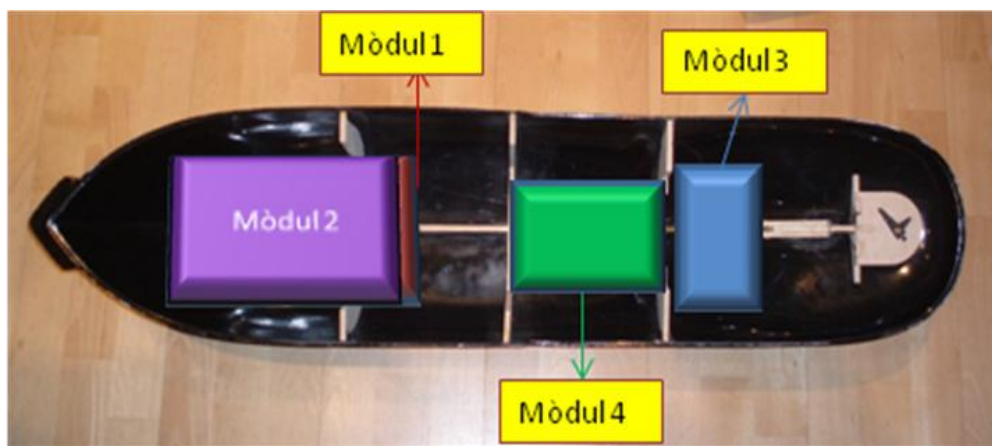


Figura 3.11.- Col·locació dels mòduls 3 i 4.

Com es pot apreciar a la figura següent, l'esquema de col·locació coincideix correctament amb l'ubicació de tots els elements reals que componen el vaixell.

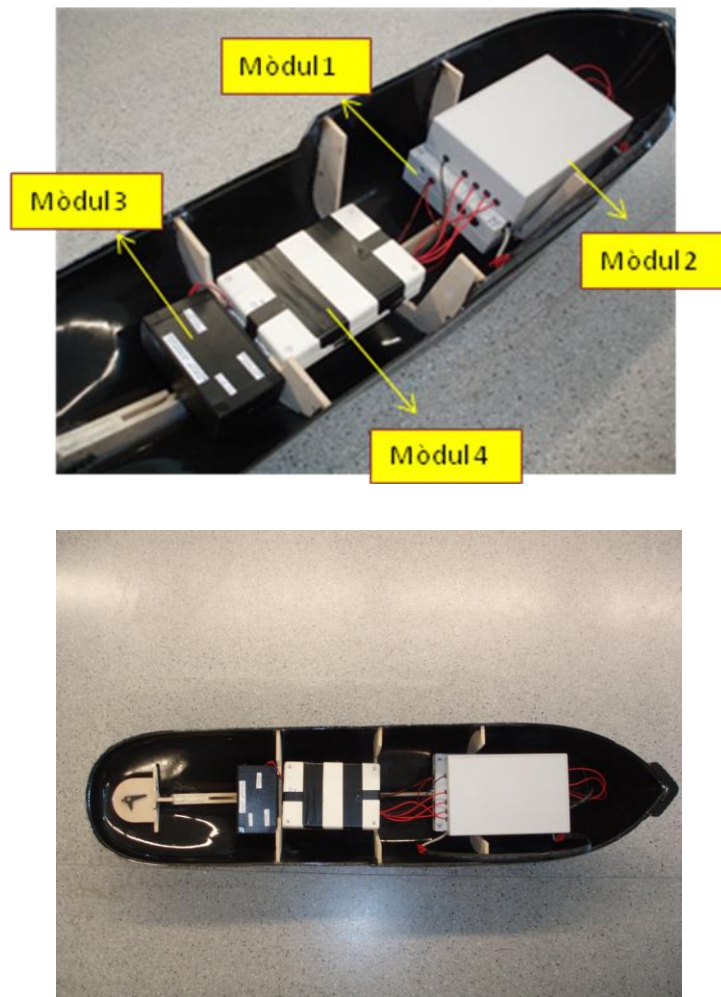


Figura 3.12.- Figures reals de les connexions

3.6.- Arrencada del sistema

Per tal de no gastar les bateries, les dues alimentacions es mantenen desconnectades. D'aquesta manera si es desitja posar en marxa tot el sistema, només cal connectar el mòdul de bateries amb el mòdul dels convertidors, mitjançant un connector col·locat especialment per aquest motiu, i accionar un interruptor situat al mòdul 2, que permet l'arribada de potència al regulador, i aquest alimentar al motor.

D'aquesta manera es disposa l'arrencada del sistema, a l'espera de rebre ordres a través de l'estació base.

4.- Disseny del software

En aquest capítol s'explicarà el disseny del software del vehicle.

Dins de l'estructura del software, podem diferenciar dos blocs, la part interna i la part externa.

La part del software intern, s'encarrega del control de la telemetria, la qual ens transmet la informació de navegació, posicionament, estat del motor i del timó. Aquesta part del software està ubicada a la memòria Compact Flash del PC104.

Per altre banda, la part externa del software, consisteix en la programació de l'estació de seguiment. Amb aquesta aplicació es pot reproduir de manera exacte totes les dades rebudes amb la programació de la telemetria.

En aquest projecte com a estació base utilitzarem un PC portàtil per tal de fer-ho més transportable.

4.1. Entorn de programació seleccionat del vaixell

El PC escollit compleix amb l'estàndard PC/104+ d'ordinador. Aquest fet suposa disposar d'un sistema suficientment potent com per a processar les dades que li transmeten els diversos sensors (brúixola/inclinòmetre, valor de servos i receptor GPS).

Així mateix, el mòdul CPU PM 6100 permet l'ús de diversos sistemes operatius, incloent els utilitzats comunament en ordinadors de sobretaula. S'ha optat per l'instal·lació del Microsoft Windows XP Professional SP2, ja que es disposava de les llicències corresponents. Aquest sistema operatiu (S.O.) ofereix una interfície gràfica d'usuari i, a diferència dels seus predecessors, presenta millores en estabilitat i eficàcia. El S.O. Windows XP es va instal·lar en la Compact Flash de la CPU i, a causa dels recursos limitats del PC, s'han realitzat les modificacions oportunes per a optimitzar els seus propis recursos, com per exemple, ajustar els efectes visuals per a obtenir el millor rendiment, escollir el valor mínim de resolució de pantalla (800 x 600) i de qualitat del color per tal de dinamitzar el màxim possible .

La selecció del Windows XP ha estat motivada per la facilitat de trobar eines de desenvolupament, programaris potents i compatibles. L'empleada per a dissenyar el programa encarregat de processar les dades de telemetria, llegint-los dels ports sèrie i transmetent-los al port del ràdio-mòdem TX, és Microsoft Visual Studio 6.0, del que també es disposen llicències [27].

Microsoft Visual Studio és un entorn de desenvolupament integrat (IDE), és a dir, un paquet compost per un conjunt d'eines dedicades i dissenyades íntegrament per a un programador; aquest suporta diversos llenguatges de programació tals com C++, J++ i Visual Basic. Els components principals d'un IDE són:

- Editor de text
- Compilador
- Intèrpret
- Eines d'automatització
- Depurador
- Sistema de control de versions
- Ajuda a la construcció d' interfícies gràfiques d'usuari



Figura 4.1.- Microsoft Visual Studio

S'ha seleccionat la versió Visual Studio 6.0, tot i no ser la més actual, pel menor consum de recursos respecte d'altres versions més noves.

L'aplicació de telemetria que es dissenya és relativament senzilla, per tant, no és necessària la utilització d'un IDE més complex. La versió Visual Studio 6.0 és, a més, l'última versió en la qual el llenguatge Visual Basic s'inclou sense les millores fruit de la plataforma .NET. El llenguatge Visual Basic és, precisament, l'utilitza't en el disseny de les aplicacions de l'estació base i el vehicle.

Els avantatges que ofereix VB enfront d'altres llenguatges de programació deriven de la seva condició de llenguatge de programació orientat a objectes. Aquest tipus de programació

expressa un programa com un conjunt d'objectes que col·laboren entre ells per a realitzar tasques. Això permet fer els programes i mòduls més fàcils d'escriure, mantenir i reutilitzar. Per tant, permet al programador crear interfícies d'usuari completament interactives, definint primer objectes per a després enviar-los missatges sol·licitant que realitzin els seus mètodes per si mateixos. L'estreta relació entre mètodes i atributs per la propietat de conjunt és la major diferència entre la programació orientada a objectes i la programació estructurada, en la qual les dades i els procediments estan separats i sense relació, ja que l'única cosa que es busca és el processament d'unes dades d'entrada per a obtenir altres de sortida.

Com a resum, a la taula següent podem trobar els diferents elements que componen l'entorn de programació del vaixell:

Ordinador	Mòdul CPU PM 6100 PC/104+ AMD Geode LX800 Processador 500 MHz 512 MB RAM
Sistema operatiu	Microsoft Windows XP Professional SP2
Entorn de programació	Microsoft Visual Studio 6.0
Llenguatge de programació	Visual Basic

Taula 4.1.- Entorn de programació del vaixell

4.2.- Entorn de programació seleccionat de l'estació base

El PC escollit per a l'estació de seguiment del vaixell és un portàtil, ja que és important la mobilitat del mateix a l'hora de realitzar les proves que trobarem en el següent punt del present projecte. Aquest portàtil no disposa de ports sèrie, per tant, és necessari utilitzar un convertidor de USB a RS-232, ja que aquest és el tipus de port utilitzat pel ràdio-mòdem receptor, que ha d'anar connectat per tal de rebre les dades adquirides a través dels sensors. El model d'aquest convertidor és USB 2.0 to RS232 de la marca Conceptronics.



Figura 4.2.- Convertidor de USB 2.0 a RS-232

En quant al sistema operatiu del PC portàtil, s'ha optat pel windows XP Professional Edition SP2. Aquest S.O. és completament compatible amb el convertidor de USB a sèrie escollit i amb el programa utilitzat a l'hora de dissenyar el programari de la pròpia estació base, el Visual Basic 6.0.

A l'hora de mesurar magnituds físiques remotes i el posterior enviament de la informació cap a l'operador del sistema, generalment mitjançant comunicació sense fil, es coneix com telemetria. Aquesta és de vital importància per comprovar el correcte funcionament del sistema del USV. Per tant, resulta imprescindible dissenyar un programa capaç de llegir les dades rebudes pel ràdio-mòdem receptor situat en l'estació base, dades que han estat enviades pel ràdio-mòdem transmissor situat en el propi vehicle. Apart de realitzar aquesta lectura de les dades, el programa ha de ser capaç de gestionar aquests paquets i presentar-los a l'usuari de manera gràfica i entenedora. A aquest programa l'hem anomenat Estació de seguiment.

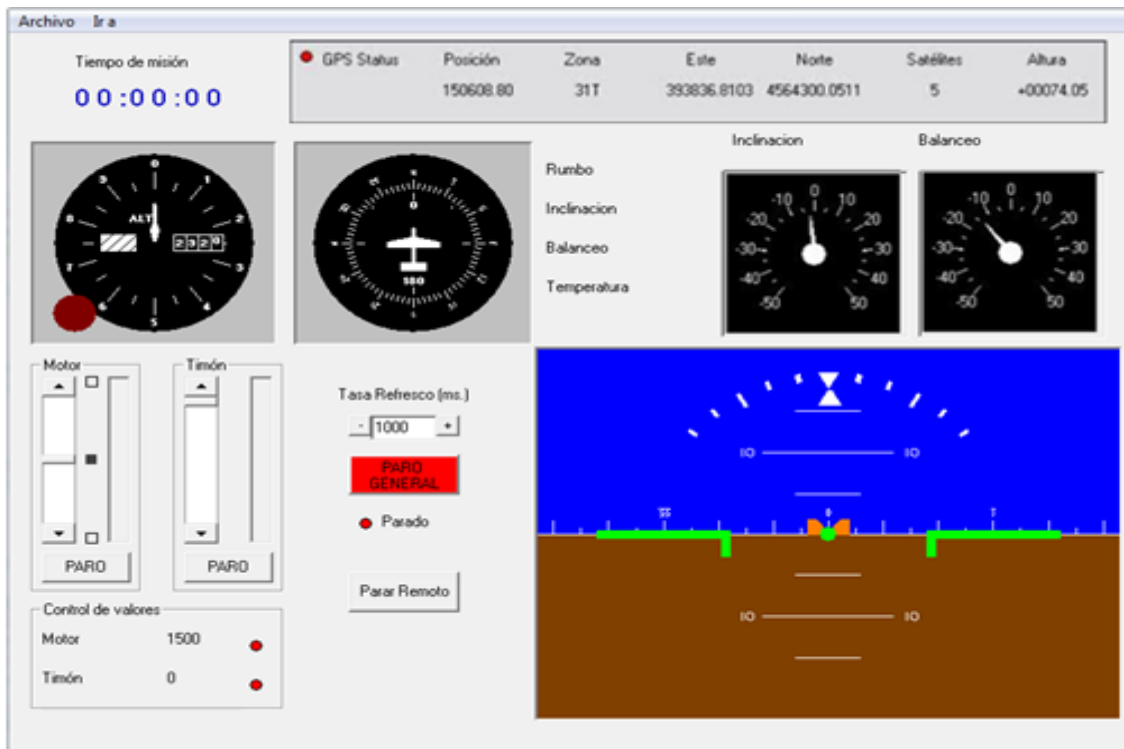


Figura 4.3.- Finestra del software de control de l'estació de seguiment

Les dades de telemetria transmeses via l'enllaç ràdio-mòdem són els paràmetres percebuts pels sensors del sistema d'instrumentació i control, és a dir, la brúixola electrònica i el receptor GPS. Les dades d'interès que proporciona la brúixola/inclinòmetre són el rumb, el balanceig i la temperatura. A més, el balanceig és especialment important a l'hora d'implementar el control d'estabilitat del vaixell. Per tant, aquests quatre paràmetres són els que han de ser presentats a l'usuari a través de l'Estació de seguiment. La trama de dades transmesa per la brúixola

electrònica TCM2.6, que conté aquests paràmetres esmentats, està en el format estàndard que proporciona el dispositiu; no obstant això, s'ha configurat perquè no apareguin les magnituds del camp magnètic, ja que no són necessàries en l'aplicació. D'aquesta manera, la definició de la trama resultant és la següent:

\$C<rumbo>P<cabeceo>R<balanceo>T<temperatura>E<error>*checksum<cr><lf>

Com a resum, a la taula següent podem veure l'entorn de programació utilitzat per dissenyar els programes de l'estació base:

Computador	Portàtil Sony Baio Intel Centrino Duo Processador 1,73 GHz 2 GB RAM
Sistema operatiu	Windows XP Home Edition SP2
Entorn de programació integrat	Microsoft Visual Studio 2008
Llenguatge de programació	Visual Basic

Taula 4.2.- Entorn de programació de l'estació base

4.3.- Programa de telemetria

Com s'ha comentat anteriorment, a fi d'aconseguir una correcta comunicació via ràdio-mòdems, ha de programar-se una aplicació a la CPU del AV que sigui capaç de llegir les dades del port sèrie al que està connectat la brúixola electrònica i, al mateix temps, dirigir aquesta informació al port sèrie al qual va connectat el ràdio-mòdem TX, perquè aquest el transmeti al ràdio-mòdem RX, vinculat a l'Estació de seguiment. El programa s'ha dissenyat en llenguatge Visual Basic a partir de les eines que ofereix el IDE Visual Studio 6.0. Aquesta aplicació, que s'anomena Telemetria, envia la petició de coordenades UTM al DG14 i capta les dades transmeses pels sensors en un interval marcat per un Timer de 1 s, interval idèntic al de lectura de l'Estació de seguiment. De tal manera que unifica les trames d'informació de cadascun dels sensors en una sola trama, distingint ambdues amb el símbol "%". Aquesta trama total d'informació s'envia al ràdio-mòdem TX, que s'encarrega de transmetre-la al ràdio-mòdem RX. L'Estació de seguiment llegeix les dades que li proporciona aquest ràdio-mòdem i els divideix mitjançant la funció Split i el delimitador "%"; separant-se d'aquesta manera la trama corresponent al receptor GPS de la de la brúixola/inclinòmetre. Cadascuna d'elles es processa per separat, però al mateix temps, i es presenta a l'usuari, tal com s'ha explicat anteriorment.

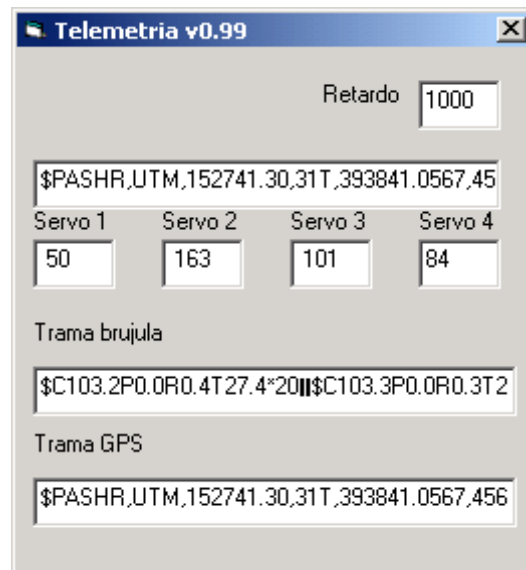


Figura 4.4.- Interfície de l'aplicación de Telemetría

Aquest programa ha d'iniciar-se de manera automàtica a l'encendre el mòdul de la CPU PC/104+, ja que no es disposa de monitor ni de ratolí o teclat, necessari per iniciar de manera manual el programa clicant el botó. Per tant, el Timer s'ha d'habilitar només iniciar el programa i, a més, l'arxiu “.exe” ha de situar-se a la direcció C:\Documents and Settings\All Users\Menú Inici\Programes\Inici perquè s'executi només carregar-se el S.O. de la CPU.

4.4.- Programa brúixola/inclinòmetre (versió inicial)

Inicialment, es va optar per realitzar un primer acostament mitjançant un programa senzill en Microsoft Visual Basic 6.0 capaç de gestionar les dades proporcionades per la trama d'informació de la TCM2.6, estant aquesta connectada directament a un port sèrie del portàtil. El disseny de la interfície d'usuari (o formulari) d'aquest programa pot veure's en la Figura . Treballant d'aquesta manera, s'ha conegut millor el comportament del dispositiu, d'aquesta manera posteriorment, s'ha pogut dissenyar un programa més complex que, apart de llegir les dades del port sèrie al qual es connecta el ràdio-mòdem receptor que, a la vegada, rep els paràmetres de la brúixola electrònica a distància mitjançant l'enllaç amb el ràdio-mòdem transmissor, serà capaç de mostra-les gràficament.



Figura 4.5.- Interface del programa Brúixola/inclinòmetre

Els components més importants d'aquest programa són el MSComm, que permet seleccionar i configurar el port que es connecta el dispositiu; el Timer, que marca l'interval de mostreig del port sèrie i, per tant, l'interval de lectura i presentació de les dades, que en aquest cas no podrà ser inferior a 1 segon, ja que baixar aquest temps pot suposar pèrdues d'informació, errors i una despesa de bateria innecessari. A partir del component MSComm s'ha configurat el port sèrie que es connecta la TCM2.6 tal com indiquen les seves especificacions: sense paritat, 8 bits de dades i 1 bit de stop. Així mateix, s'ha seleccionat la velocitat de transferència a 9600 baudis. La separació de cada paràmetre de la trama de dades, per a la seva posterior presentació en el corresponent TextBox, s'ha realitzat amb la funció Split, aquesta retorna una matriu unidimensional basada en zero que conté un nombre especificat de subcadena delimitades per un caràcter específic. D'aquesta manera, es procedeix dividint la trama completa rebuda utilitzant la funció Split i el delimitador "C" i, a continuació, tornant a utilitzar la funció Split però aquesta vegada dividint el primer component de la separació anterior i utilitzant "P" com delimitador. S'aconsegueix separar el valor "rumb" que s'assigna al TextBox desitjat; per obtenir els altres paràmetres es procedeix d'igual manera, tenint en compte el delimitador corresponent. Abans de realitzar la separació anterior, s'ha de realitzar un control d'error que detecti si la trama ha arribat correctament i conté tots els paràmetres. Aquesta detecció es realitza amb la funció Instr, que retorna un enter que especifica la posició inicial de la primera aparició d'una cadena dintre d'una altra. Per tant, s'aplica la funció Instr para buscar dins la trama de dades cadascun dels caràcters que delimiten els paràmetres de la mateixa ("\$", "C", "P", "R", "T" i "*"); si el

resultat d'alguna de les funcions Instr aplicades és igual a zero, significa que la trama no ha arribat correctament, és a dir, falten tots o algun dels paràmetres desitjats. Si es dona el cas que la trama de la brúixola electrònica no rep adequadament, l'aplicació de la funció Split explicada amb anterioritat queda avortada fins a rebre una trama correcta. A més del control d'error que utilitza la funció Instr para detectar que la trama rebuda és l'adequada, s'ha de tenir en compte si la trama conté el camp “codi d'error” i, si és així, diferenciar cadascun d'aquests errors. Per a aquesta finalitat, ha de detectar-se primer si la trama conté el caràcter “I” mitjançant la funció Instr i, posteriorment, si el resultat de la funció és diferent de zero, utilitzar aquesta mateixa funció per a assignar-li a un TextBox un missatge d'error o un altre, depenent de l'esmentat codi d'error. D'aquesta manera, l'usuari observa de manera clara si es produeix un error tal com “Inclinòmetre fora de rang”, que és precisament l'error més comú, ja que es produeix quan l'inclinòmetre supera, en balanceig, un rang de $[-50^{\circ}, +50^{\circ}]$.



Figura 4.6.- Missatge d'error en el programa Brúixola/Inclinòmetre: Inclinòmetre fora de rang.

Aquestes funcions de lectura, control d'errors i gestió de les dades proporcionades per la trama de la brúixola TCM2.6, s'han inserit dintre de l'esdeveniment Timer, definint el paràmetre interval del seu objecte a 1 s. D'aquesta manera, una vegada habilitat el Timer mitjançant el botó “START”, es realitza la lectura del port sèrie i la presentació en pantalla de les diferents dades a l'usuari cada segon, fins que torna a deshabilitar-se l'esdeveniment Timer temporalment o de manera definitiva (tancant el formulari) accionant el botó “STOP” o “SORTIR”, respectivament. El botó “SORTIR”, a més de deshabilitar l'esdeveniment Timer, i a diferència del botó “STOP”, també tanca el port sèrie seleccionat, que s'obre i configura només inicialitzar el formulari.

4.5.- Programa brúixola/inclinòmetre definitiu

Una vegada realitzat el programa senzill descrit en l'apartat anterior, s'ha iniciat el disseny dins de l'Estació de seguiment, que junta les dades rebudes per la brúixola electrònica i el receptor GPS, a més d'afegir elements gràfics per a la seva millor interpretació. El menú Estabilitat que organitza les dades transmeses per la brúixola electrònica es mostra en la Figura 4.7.

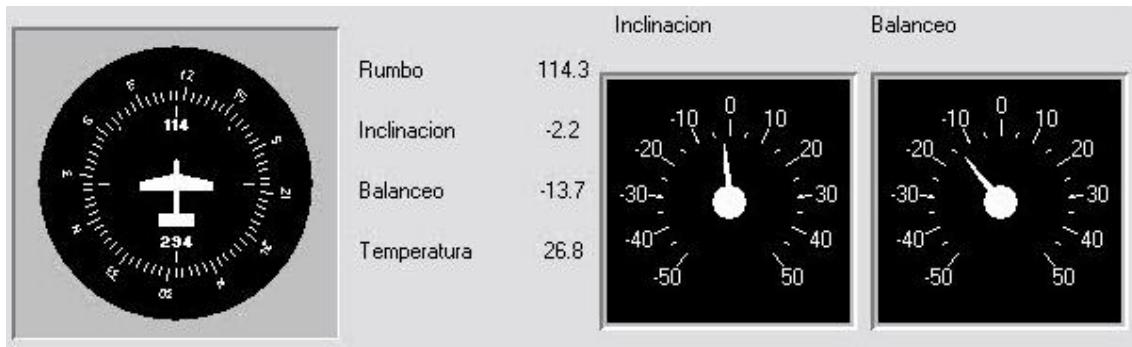


Figura 4.7.- Dades referenciades en el software

Per tant, es va aprofitar el codi del programa Brúixola/Inclinòmetre para gestionar tots els paràmetres de la brúixola electrònica, agrupant a aquests en un mateix sector del programa. S'han afegit, a més, 3 elements gràfics que responen a la dinàmica d'aquests paràmetres, i que faciliten la visualització dels mateixos. Els elements gràfics, que participen en la representació de les dades dels diferents sensors en l'Estació de seguiment, formen part de la ActiveX Aircraft Library v1.1 de Global Majic Programari. Aquesta llibreria està composta per controls ActiveX; aquests són objectes que es col·loquen en el formulari per a habilitar o millorar la interacció de l'usuari amb una aplicació. Els controls ActiveX tenen esdeveniments que es poden incorporar en altres controls. L'extensió del seu nom d'arxiu és “.ocx”, per aquest motiu es coneixen també com controls OCX. La ActiveX Aircraft Library v1.1 és una llibreria formada per un conjunt de quatre controls personalitzables i específics per aeronaus, però que es poden aprofitar totalment per el vaixell; dissenyats pels programadors interessats a crear jocs, simulacions o emulacions de pilotatge. Aquests quatre controls són els següents: Aircraft Dynamics ActiveX Control, Aircraft Instruments ActiveX Control, Maneta de jocs ActiveX Control i Moving Map ActiveX Control. En la següent figura es mostren exemples de components que pertanyen algun d'aquests controls.

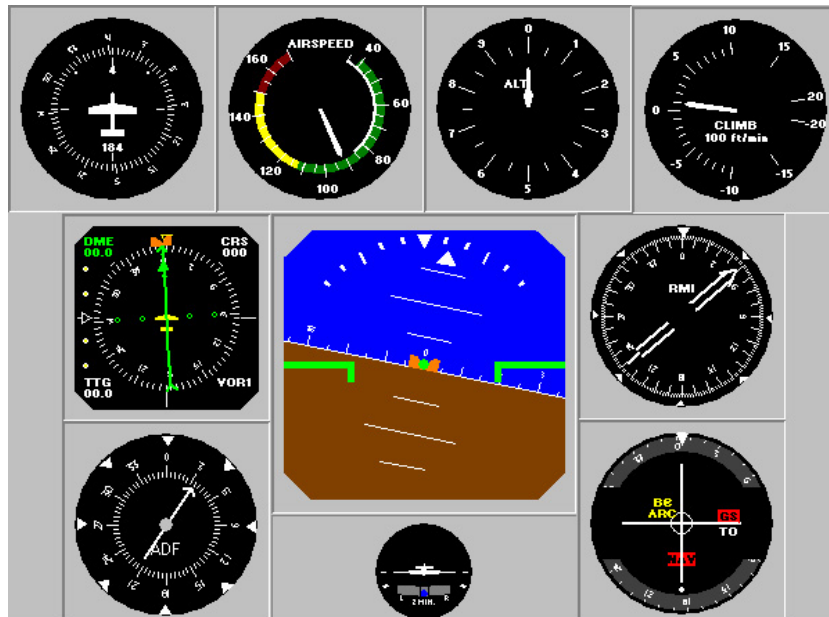


Figura 4.8.- Components del ActiveX Aircraft Library v1.1

Els components utilitzats en la implementació l'Estació de seguiment formen part de Aircraft Instruments ActiveX Control. Aquest control mostra dotze petits instruments de navegació: altímetre, horitzó artificial, cercador automàtic d'adreça, indicador de velocitat d'escalada, brúixola, indicador de ruta, indicador de rumb, indicador de situació horitzontal, indicador d'orientació, indicador ràdio magnètic i coordinador de gir. Aquests components poden configurar-se pel programador de manera fàcil gràcies a pàgines dinàmiques de configuració, que mostren el resultat dels canvis realitzats immediatament després de canviar la configuració d'algun dels paràmetres. Els instruments més il·lustratius a l'hora de representar les dades de la brúixola electrònica són l'indicador de rumb i l'horitzó artificial. Per aquest motiu s'inclouen en el programari dissenyat, d'aquesta manera, representen el rumb i la inclinació (balanceig) del vehicle. De la mateixa manera, en el mòdul d'horitzó artificial es relaciona l'escala de balanceig amb la brúixola. Aquest fet significa que si el punt central, que indica la part davantera més extrema del vehicle, es troba en el límit, superior o inferior, de l'escala de l'inclinació, apareix el missatge d'error "Inclinòmetre fora de rang", ja que aquest límit ha estat configurat a $\pm 50^\circ$. Aquest missatge també apareix si la punta de fletxa que apunta cap amunt arriba a un dels límits de l'escala corba, i el valor del qual és també de $\pm 50^\circ$. Aquestes quatre possibles situacions de "Inclinòmetre fora de rang" es mostren en la Figura següent:

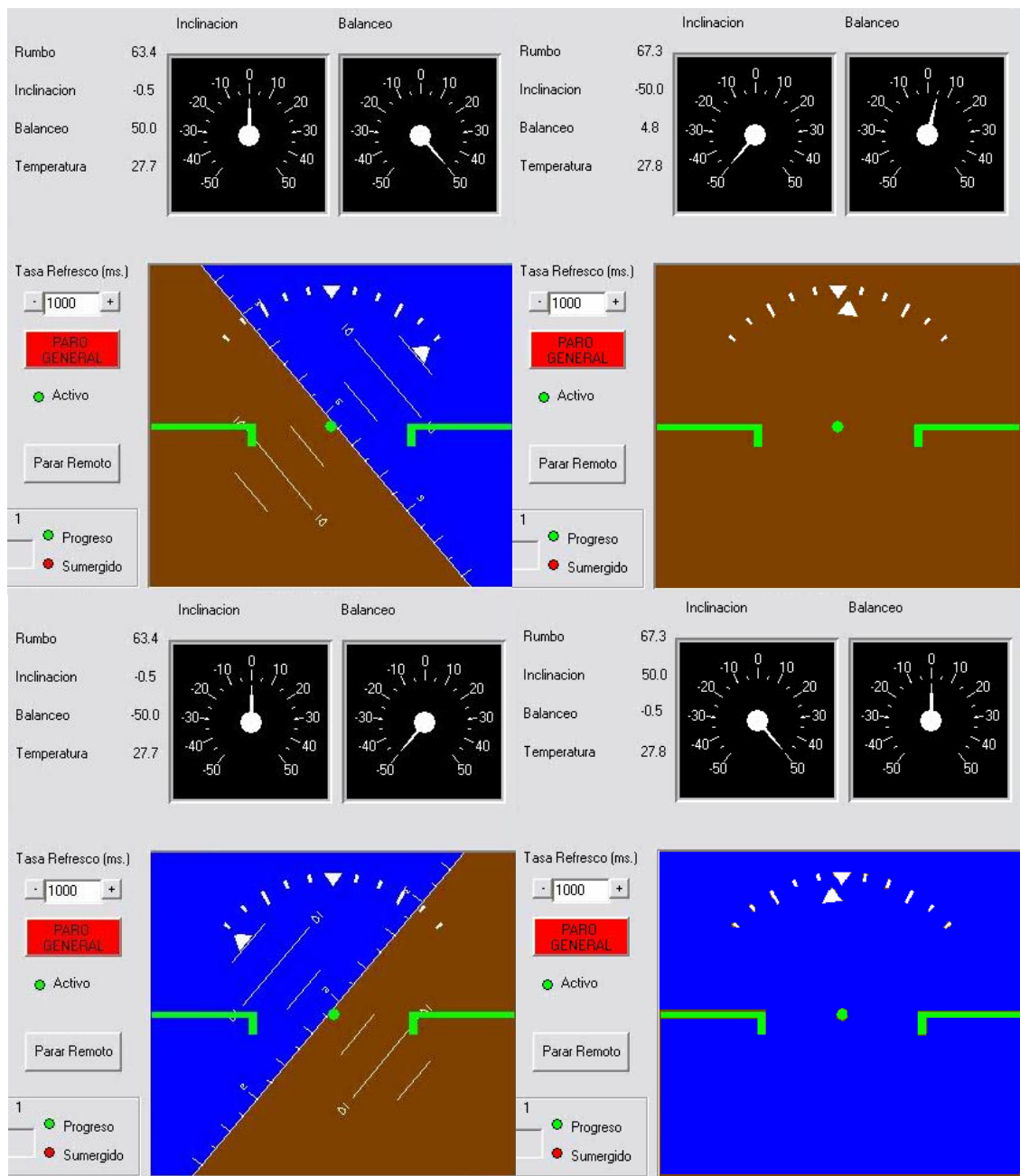


Figura 4.9.- Valors extrems d'inclinació i balanceig.

4.6.- Processament de les dades del receptor GPS

El receptor GPS s'instal·la per conèixer la posició del vaixell, per aquest motiu els paràmetres obvis que s'han d'obtenir del mateix han de ser les coordenades. A més, és interessant rebre dades sobre el nombre de satèl·lits detectats, ja que aquesta dada determina l'exactitud del posicionament captat. Existeixen nombroses comandes de configuració i petició dels diferents paràmetres del DG14. El grup de comandes que resulta més útil és el de comandes NMEA, ja

que proporcionen les dades requerides en un format estàndard fàcilment interpretable. Les comandes que més s'ajusten a la nostra aplicació són les que ens permeten obtenir les coordenades en format UTM, ja que a partir de les seves magnituds és possible dissenyar un mapa georreferenciat de manera menys complexa que amb la utilització del sistema de coordenades tradicional (latitud i longitud). D'aquesta manera, la comanda de petició que ha d'enviar l'usuari al receptor GPS DG14 per a obtenir les coordenades UTM és: - \$PASHQ,UTM,[30]: Aquesta comanda realitza la petició del missatge UTM, on "c1" és un camp opcional que fa referència al port de sortida de la resposta. Si aquest port no s'especifica, el receptor envia la resposta pel port utilitzat a l'enviar la comanda. El missatge de resposta a la comanda enviada per l'usuari no és transmesa pel DG14 tret que el missatge contingui les coordenades traduïdes a UTM, més el temps UTM, el nombre dels satèl·lits utilitzats en el còmput de la posició, la manera de la fixació de posició (per exemple, autònom o corregit), etc. El missatge de sortida es mostra en el següent format:

\$PASHR,UTM,m1,m2,f3,f4,d5,d6,f7,f8,m,f9,m,d10,s11*hh

La descripció de cadascun dels camps que formen el missatge de resposta del receptor GPS DG14 s'observen en la Taula següent:

Paràmetres	Descripció	Rang
m1	UTC (Universal Time Coordinated) de la posició en hores, minuts y segons (hhmmss.ss)	0 a 235959.90
m2	Número de la zona de coordenades	1 a 60, 99 N – North S – South
f3	Coordenada Est UTM	-999999.999 a +999999.999
f4	Coordenada Nort UTM	-999999.999 a +999999.999
d5	Indicador del mode de posició fixa 1 – Posició sense processar 2 – Diferencial RTCM o CPD flotant 3 – Fase de carrega diferencial (CPD) fixa	1, 2, 3
d6	Número de satèl·lits GPS utilitzats per computar posicions	3 a 14
f7	Precisió de la dissolució horitzontal	0.00 a 999.9
f8	Altura de l'antena	-99999.999 a +99999.999
m	Unitats de l'altura de l'antena	M = metros
f9	Separació geoidal	±999.999
	Unitats de la separació geoidal	M
d10	Edat de les correccions diferencials	0 a 999
s11	Estació ID de referència diferencial	String de 4 caràcters
*hh	Checksum	

Taula 4.2.- Camps del missatge de resposta del receptor GPS DG14 Board

4.6.1.- Dades GPS

Anteriorment s'ha explicat la traducció de les dades de la brúixola del programa Estació de seguiment, que organitza les dades rebudes per la brúixola electrònica, ara en el menú Posicionament, s'encarrega de junta els diferents paràmetres detectats pel receptor GPS, com podem veure representat a la Figura.

 GPS Status	Posición	Zona	Este	Norte	Satélites	Altura
	150608.80	31T	393836.8103	4564300.0511	5	+00074.05

Figura 4.10.- Dades GPS de l'Estació de seguiment

Els paràmetres de la trama de resposta del receptor GPS DG14 a la consulta de les coordenades UTM que es visualitzen en aquest menú són, a més de la trama en si, la posició (hhmmss.ss), la zona, les magnituds Est i Nord, el nombre de satèl·lits i l'altura de l'antena, que, sabent que aquesta ha de situar-se dintre del vaixell, és idèntic a parlar de l'altura del vaixell, tot i que, aquest no és una dada important ja que a pesar de la dada de la imatge, el vehicle només se situarà sobre els 0 metres.

Per obtenir aquestes dades de manera periòdica s'ha utilitzat, igual que amb la brúixola/inclinòmetre, un component Timer configurat a 1 s. Les funcions que s'executen a l'habilitar aquest component, pressionant inici en el menú arxiu, són l'enviament, a través del port sèrie del portàtil al qual es troba connectat el DG14, de la comanda de consulta "\$PASHQ,UTM" seguit dels caràcters ASCII corresponents a ; la lectura, i posterior organització de la trama de resposta del receptor GPS. Cal tenir en compte que l'enviament de la comanda de consulta de coordenades UTM tan sols ha de realitzar-se des de l'Estació de seguiment si el DG14 es troba connectat al portàtil de l'estació base. No obstant això, aquesta comanda ha de ser transmesa per l'aplicació del vaixell si el receptor GPS està connectat al mòdul CPU que pertany al mateix. Prèviament a l'organització de cada paràmetre de la trama de resposta, ha d'aplicar-se un control d'error que detecti si la trama rebuda és correcta. La manera d'aplicar aquest control es l' utilització de la funció Instr a la trama, a la recerca dels caràcters "\$PASHR", que sempre corresponen a l'inici del missatge de resposta. Una vegada passat aquest control, cada camp de la trama es divideix mitjançant la funció Split, utilitzant com delimitador el caràcter ",". A diferència de la trama corresponent a la brúixola electrònica, que conté diferents caràcters per delimitar cadascun dels seus paràmetres, la trama transmesa pel

dG14 compleix el format NMEA dividint els seus camps amb una coma i, per tant, solament és necessari aplicar la funció Split una vegada. És útil emprar un altre control d'error una vegada divideixi la trama de resposta, comprovant que aquesta s'ha separat en quinze elements. La funció a utilitzar per a aquest objectiu és Length, aquesta funció obté un nombre sencer que representa el nombre total d'elements del vector al que s'aplica. D'aquesta manera, s'assegura que la trama és l'adequada i que s'ha rebut de manera completa, tot i que algun dels seus camps pugui estar buit. Si el missatge transmès pel DG14 no supera aquest control d'error o l'explica't anteriorment, apareix el missatge "Trama incorrecta" i sotmet el processament dels paràmetres fins que obté una trama apropiada. Si la trama de resposta supera ambdós controls d'error, els paràmetres obtinguts es divideixen i s'organitzen en el TextBox corresponent. A més, s'ha afegit un element gràfic de la llibreria ActiveX explicada anteriorment. Aquest component és un altímetre que s'ha configurat per a representar l'altura detectada pel dG14. Aquest solament s'activa si el paràmetre altura no es transmet buit, ja que els valors de zona, coordenades Est i Nord i altura, no es reben fins que el receptor GPS pot utilitzar un mínim de quatre satèl·lits per al còmput dels mateixos.

4.7.- Representació de coordenades

A més de presentar a l'usuari cadascun dels paràmetres d'interès que proporciona el receptor GPS mitjançant l'ús de TextBox i l'altímetre gràfic en el menú Posicionament, s'ha ideat una georreferenciació de diversos mapes per poder observar, en tot moment i de manera clara, la posició en la qual es troba. Per aquesta finalitat, una vegada separades les magnituds de les coordenades Est i Nord, i comprovat que no hagin arribat buides, aquestes han de passar-se a una funció que s'ha anomenat Emmagatzemar coordenades, la qual habilita un esdeveniment que permet traçar en el mapa la posició transmesa pel GPS. Els mapes utilitzats per a representar la posició que indica el DG14 són unes ortofotos, és a dir, unes presentacions fotogràfiques d'una zona de la superfície terrestre, en la qual tots els elements presenten la mateixa escala, lliure d'errors i deformacions, amb la mateixa validesa d'un plànol cartogràfic. S'han escollit les ortofotos a escala 1:5000 de Vilanova i la Geltrú, lloc on es troba l'edifici Neapolis en el qual s'efectuen les proves experimentals a l' EPSEVG.

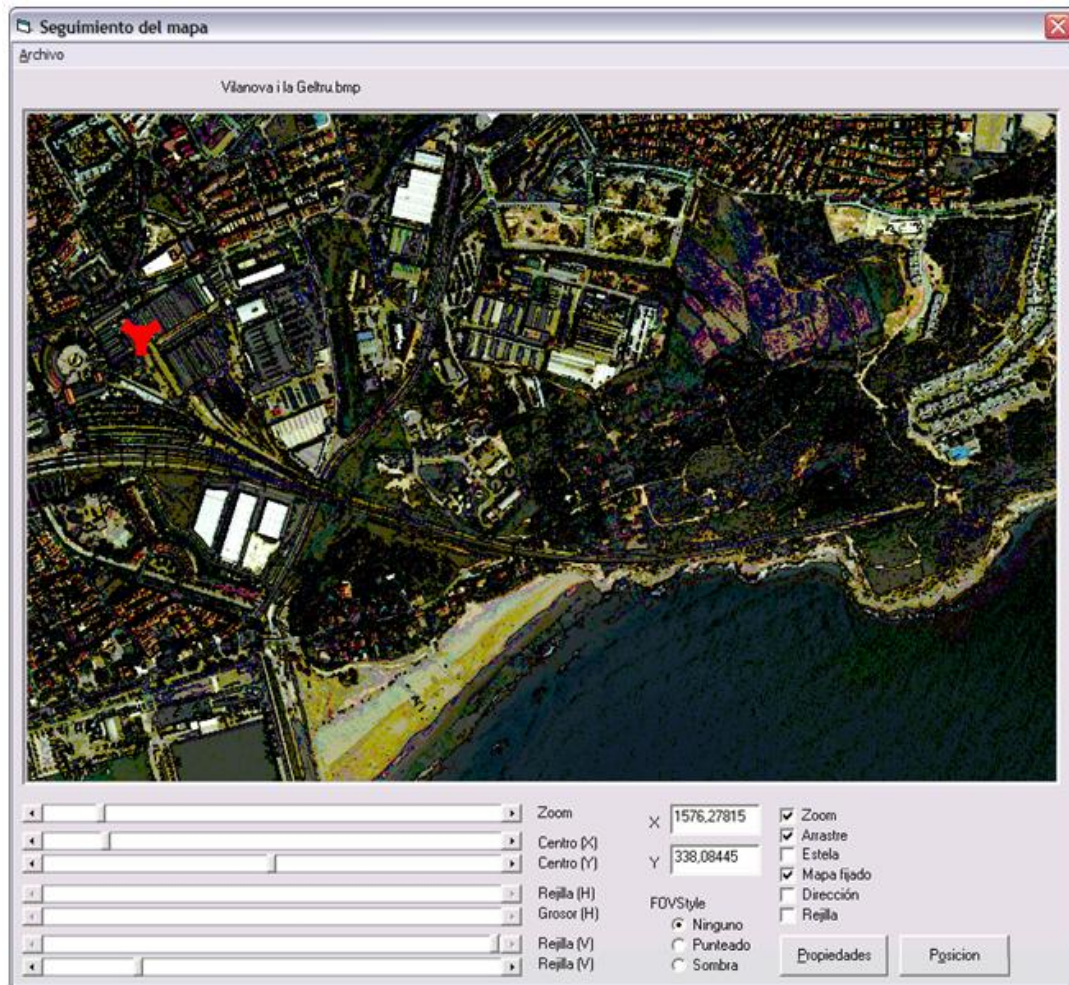


Figura 4.11.- Referenciació en el mapa

4.8.- Control de motores

El control de motor i timó del vehicle aquàtic també està inclòs dintre de l'estació de seguiment, tal i com es mostra en la següent imatge.

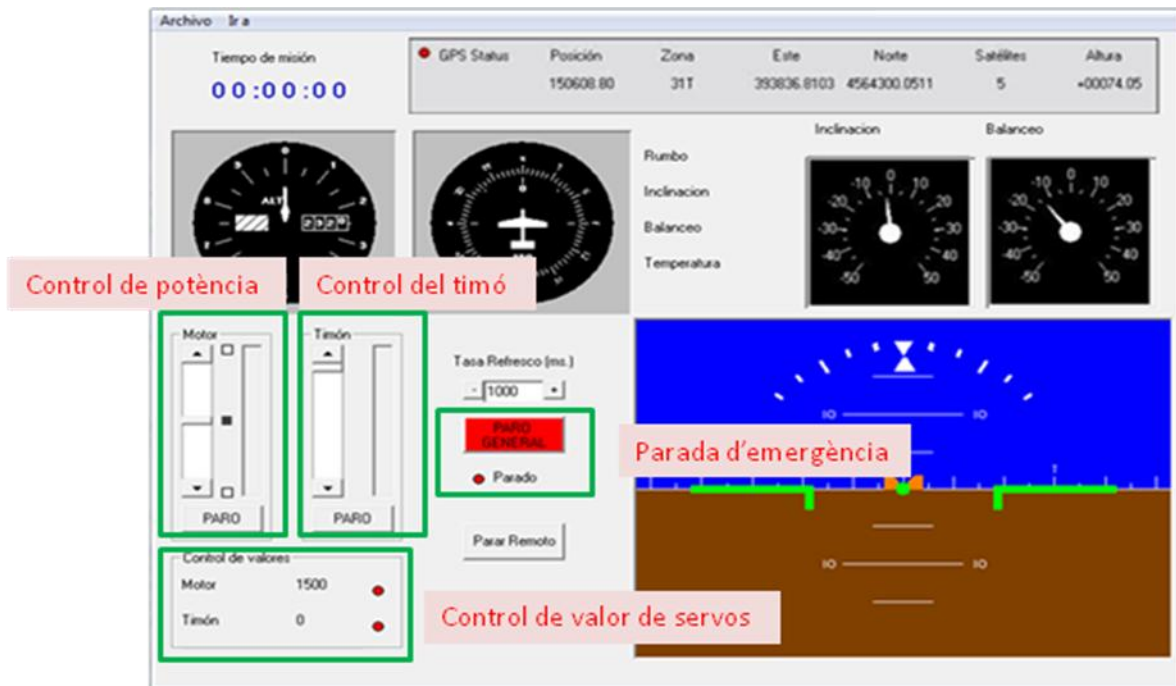


Figura 4.12.- Vista del control de motor i timó

A nivell general es poden distingir 4 elements diferents:

Control de potència

Està basat en una barra vertical que de manera visual es pot desplaçar per obtenir una major o menor potència en el motor, que tal com està descrit es pot controlar d'aquesta manera.

Control del timó

També està basat en una barra, però aquest cop de manera horitzontal, per tal de facilitar la visualització. D'aquesta manera podem controlar la direcció del vaixell.

Control de valor de servos

El control del valor de servos està íntimament lligat amb el control del nivell de potència i direcció del vaixell, ja que a cert valor, es representarà en una major o menor potència transmesa, i depenen del valor de servo virarà cap a un costat o cap a l'altre, es pot veure aquest valor en el quadre Control de valores, en el qual es distingeixen 2, Motor principal, Timó.

Parada d'emergència

Existeix un element de seguretat, el botó de PARADA GENERAL, amb el qual es parà el vaixell, per tal d'evitar qualsevol col·lisió.

5. Proves realitzades del sistema

En aquest punt del projecte s'explicaran les proves realitzades. En primer lloc es provaran tots els elements per separat, per tal de comprovar un correcte funcionament de tots ells, per una posterior prova general amb tots els sistemes interactuant.

5.1.- Prova del sistema de navegació

En primer lloc es provarà el sistema de navegació, per tant es mirarà la comunicació dels ràdio-mòdems, GPS i brúixola.

Com s'exposa a la figura següent, el programa telemetria funciona correctament, enviant trames que les rep l'estació base, interpretant aquestes dades, i mostrant-les per la pantalla.

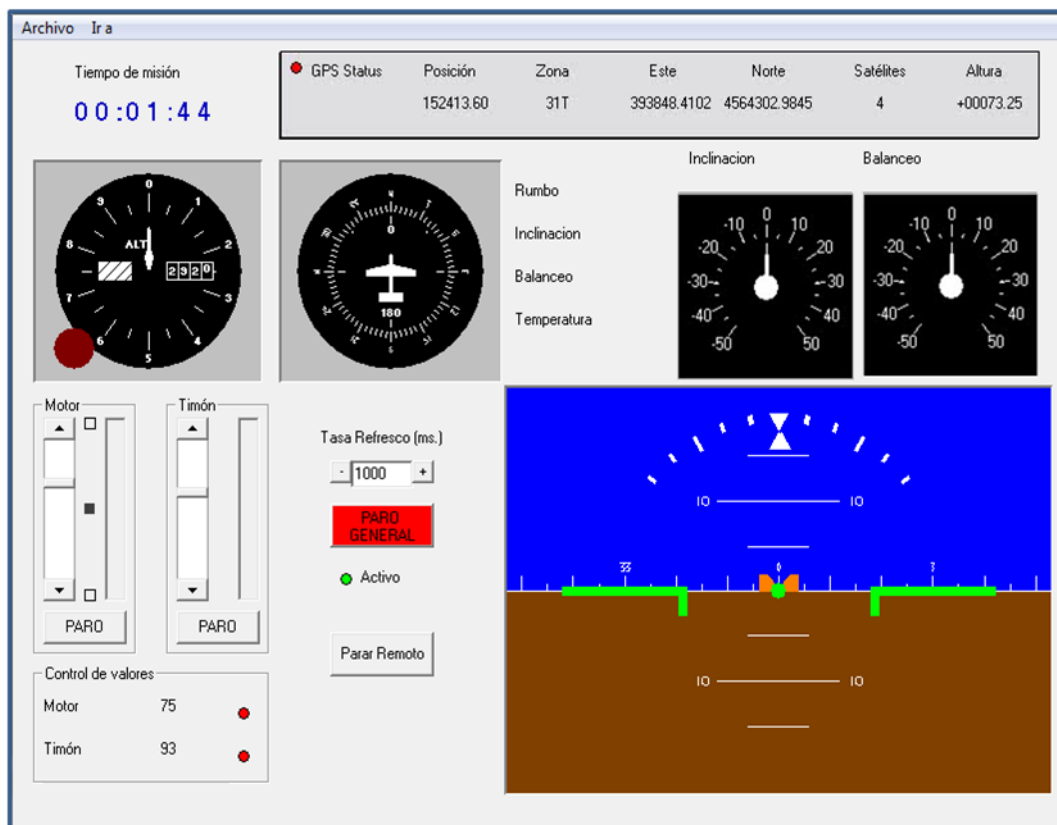


Figura 5.1.- Primera prova sistema de navegació

5.2.- Proves del GPS

Una vegada comprovat que la comunicació funciona correctament, es provarà el sistema del GPS, interpretant les dades rebudes i situant-les en un mapa georreferenciat de Vilanova.

A la figura 5.2. es representen les coordenades obtingudes a través del receptor GPS.

● GPS Status	Posición	Zona	Este	Norte	Satélites	Altura
	152413.60	31T	393848.4102	4564302.9845	5	+00073.25

Figura 5.2.- Dades obtingudes del GPS

Un cop obtingudes aquestes dades, es poden interpretar sobre un mapa georreferenciat, prèviament situant les coordenades límit amb la màxima exactitud possible per tal de no cometre errors de posicionament. A la figura 5.3. es mostren els resultats.

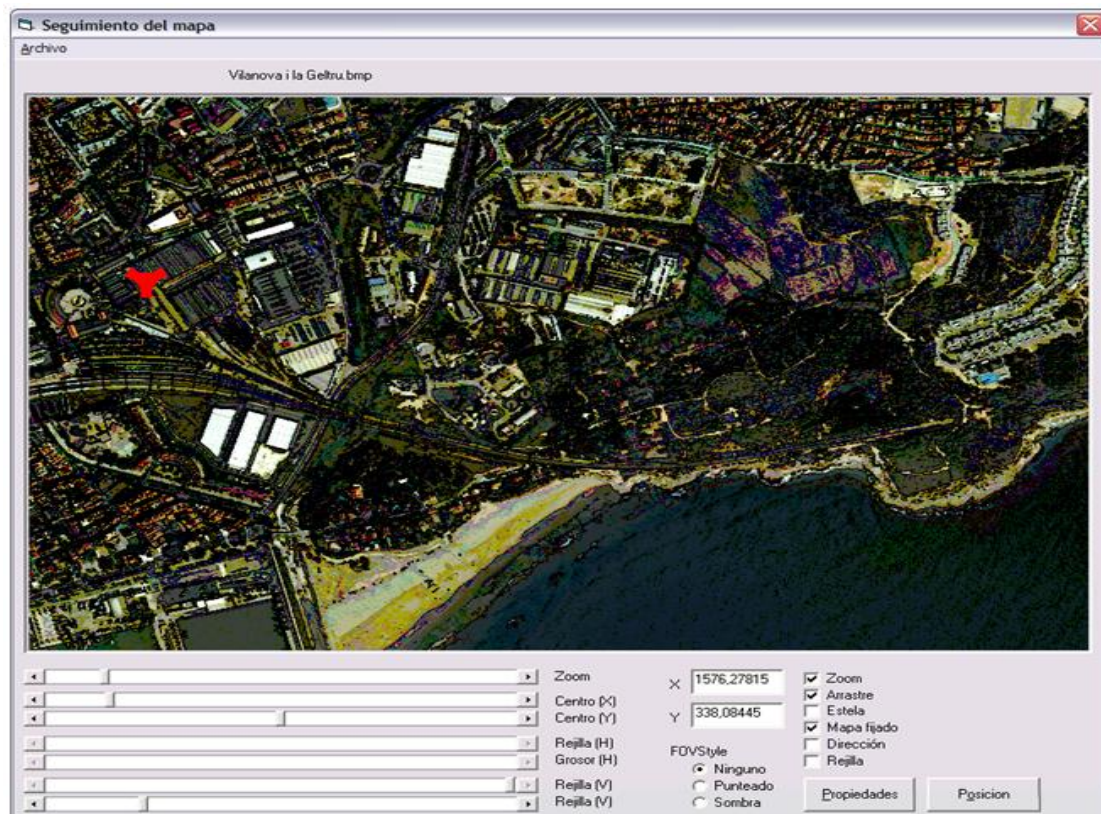


Figura 5.3.- Mapa de Vilanova georreferenciat.

5.3.- Proves de la brúixola

Per tal de demostrar el correcte funcionament de la brúixola, s'ha creat un històric per veure la evolució del vaixell en el temps.

En la figura següent es pot comprovar de forma intuïtiva la posició relativa del vaixell en cada instant, és convenient puntualitzar que en l'eix horitzontal es representen les dades rebudes, cada xifra equival a uns valors obtinguts cada 5 segons. També s'ha inclòs una línia guia de color vermell per tal de marcar els límits màxims i mínims establerts per la brúixola per tal de veure variacions temporals dintre d'aquests límits.

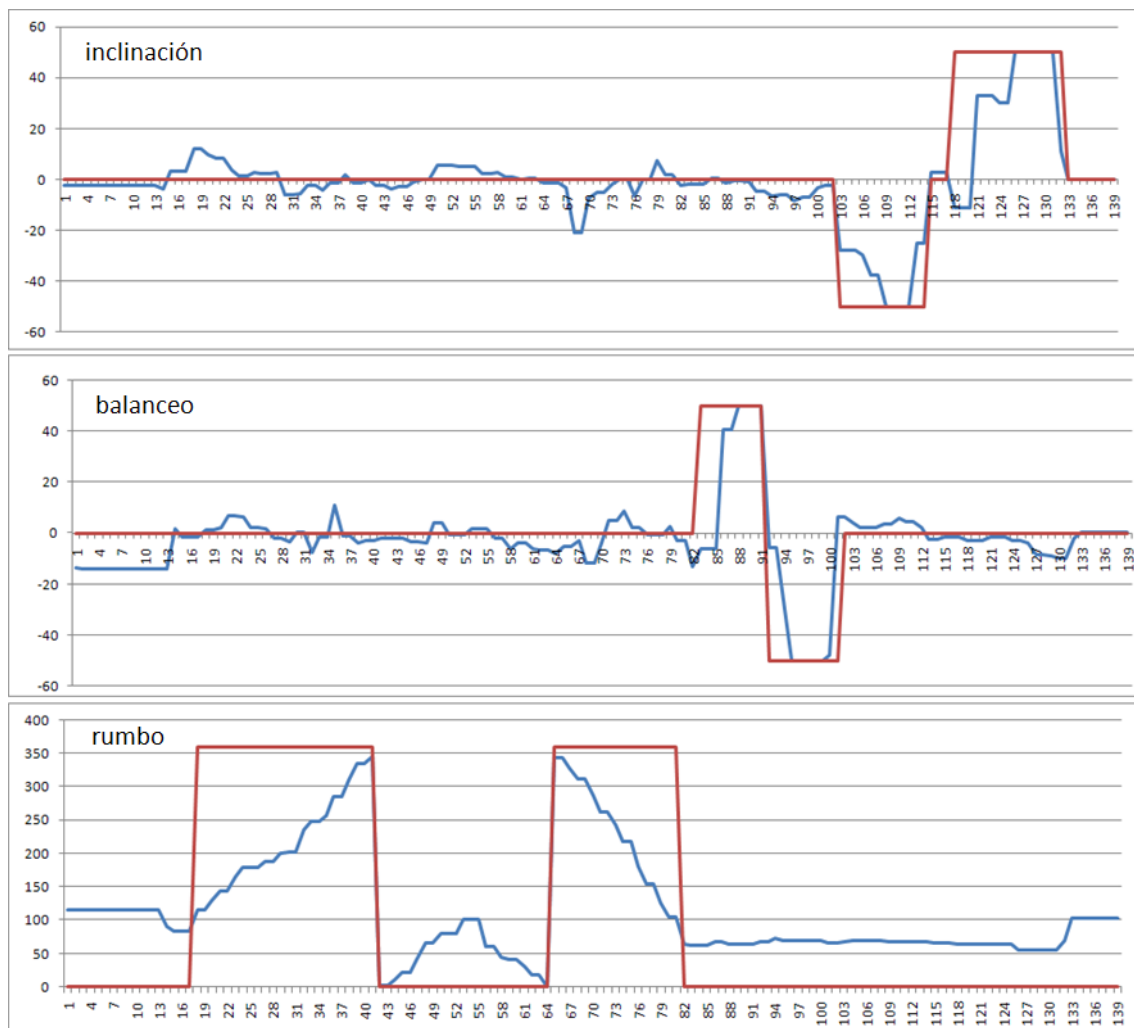


Figura 5.4.- Històric de les dades de la brúixola.

5.4.- Prova del timó

En aquest apartat s'ha dut a terme la comprovació de diferents posicions del timó comprovant-les amb les senyals obtingudes d'un oscil·loscopi.

S'han comprovat 3 posicions diferents, -45° , -90° i 0° graus. Com s'apreciarà en les següents figures, per fer variar les posicions de servo motor, s'ha de modificar l'ample del pols.

-45°

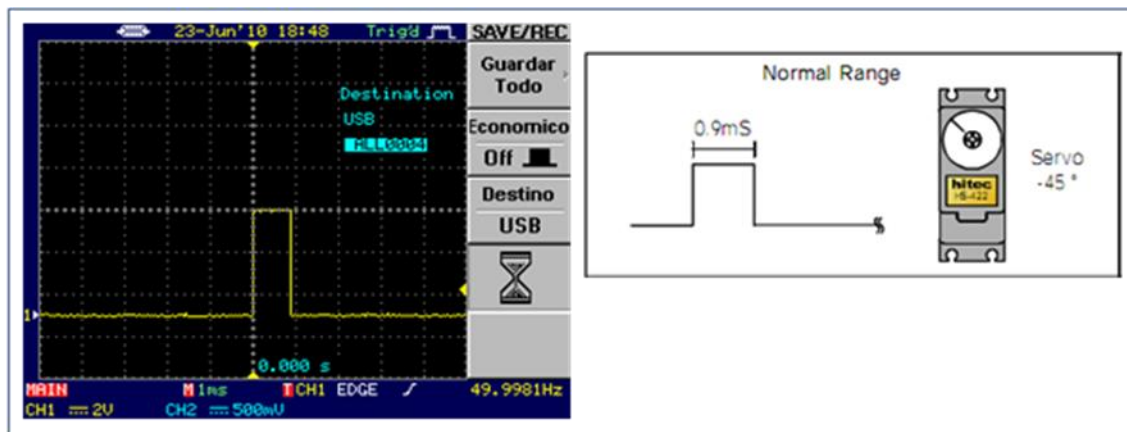


Figura 5.5.- Comparativa de l'amplada del pols a -45°

-90°

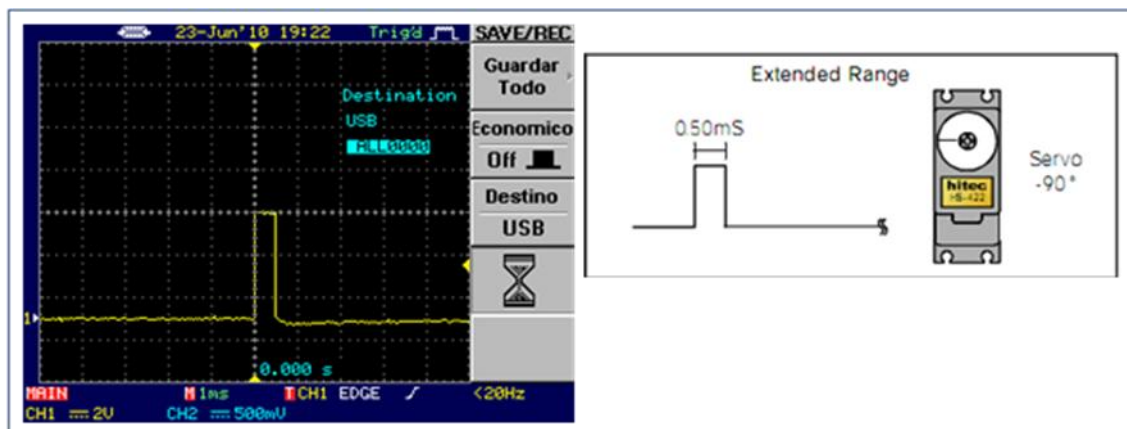


Figura 5.6.- Comparativa de l'amplada del pols a -90°

0°

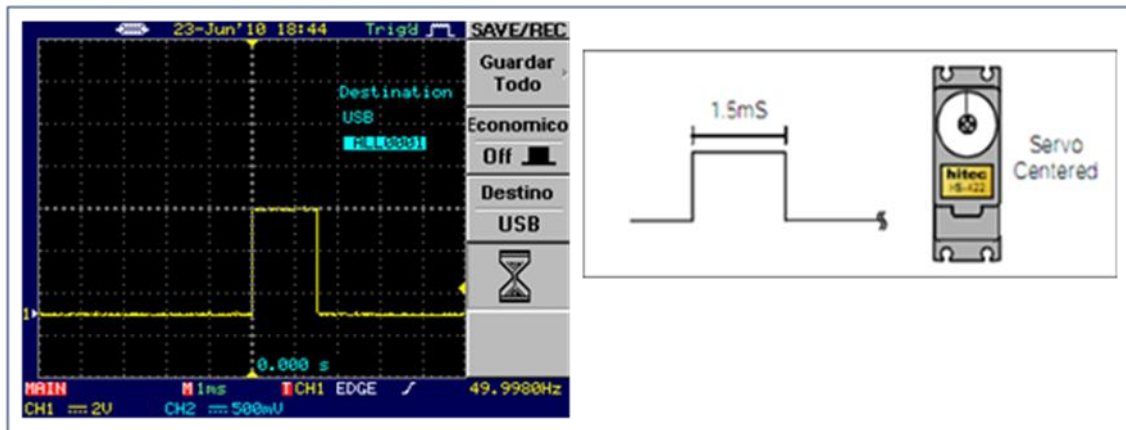


Figura 5.7.- Comparativa de l'amplada del pols a 0°

A continuació s'observa la figura 5.8. que ens mostra el nivell de tensió que hi ha, sempre constant, en el timó.

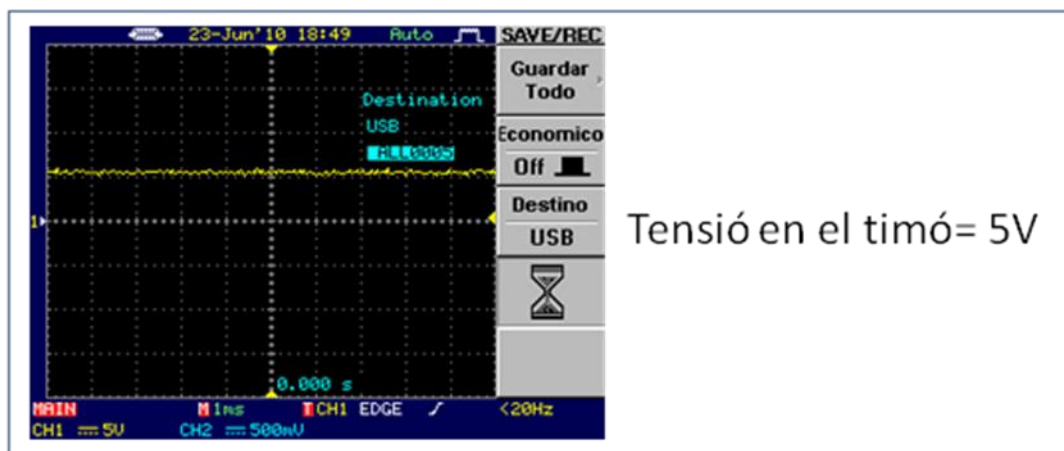


Figura 5.8.- Tensió constant al timó

5.5.- Prova del motor

Per tal de comprovar el funcionament del motor, s'han realitzat captures de pantalla, en un oscil·loscopi, aplicant diferents valors a la placa de servos, provocant d'aquesta manera diferents velocitats en el motor.

Al ser un motor controlat per PWM, es a dir, modulació per amplada de polsos, si volem variar la velocitat, s'haurà de variar l'amplada del tren de polsos. D'aquesta manera s'han realitzat tres proves amb velocitats diferents.

5.5.1.- Prova amb velocitat lenta

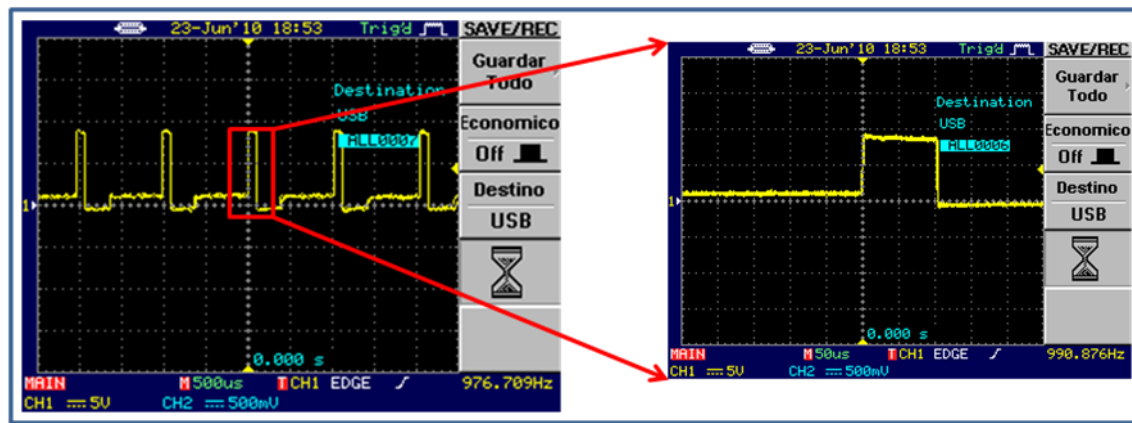


Figura 5.9 Tren de polsos 1ª prova

5.5.2.- Prova amb velocitat ràpida

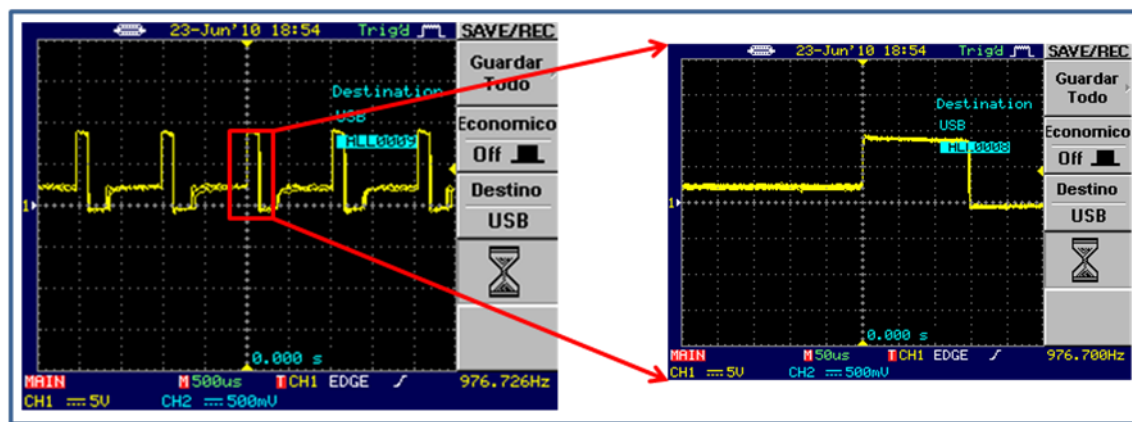


Figura 5.10 Tren de polsos 2ª prova

5.5.3.- Prova invertint velocitat

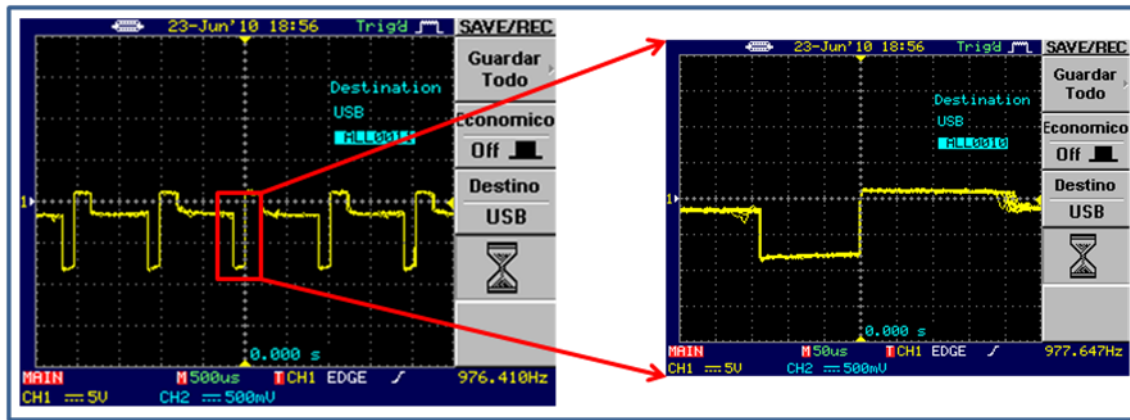


Figura 5.11 Tren de polsos 3ª prova

En aquesta última prova, es pot comprovar que al invertir el tren de polsos, s'inverteix la direcció de gir de la hèlix.

6.- Conclusions

En aquests projecte s'ha aconseguit desenvolupar i muntar els dispositius de navegació, comunicació i control, tant manual com autònom, del remolcador Amsterdam.

Com s'extreu de la memòria del projecte, els objectius del susdit s'han complert amb satisfacció. S'ha aconseguit dissenyar i construir un sistema de navegació, sistema de comunicació, sistema de propulsió i tot junt alimentat amb el sistema de potència.

D'aquesta manera es pot resumir:

Sistema de navegació

Aquest sistema està compost per, GPS y brúixola, encarregats de subministrar les dades per tal de fer possible una correcta navegació. D'aquesta manera, s'ha aconseguit un precís posicionament a través del GPS, i es possible situar l'USV en un mapa georreferenciat. També s'han aconseguit uns correctes valor d'estat mitjançant la brúixola.

Sistema de comunicació

En aquest sistema els dos elements principals son els ràdio-mòdems i l'antena, encarregats de realitzar la comunicació bidireccional entre l'estació base i el vehicle. Mirant les comunicacions es pot assegurar que tenen un correcte comportament, ja que permeten una interacció entre l'estació base i el vaixell.

Sistema de propulsió

Aquest sistema consta de dos components que s'encarreguen de la posada en marxa del vaixell. El timó, encarregat de la direcció del vaixell, i el motor encarregat de la mateixa propulsió. Tots dos elements responen correctament a les dades enviades a través de la placa de control de servos.

Sistema d'alimentació

Sistema encarregat de subministrar tota l'energia per tal de posar en funcionament els diferents sistemes del vehicle.

Per últim, i el més important de tota l'electrònica, l'encarregat de gestionar tot el flux de dades de la comunicació estació base – vaixell, i accionar tots els elements del vehicle, és el **PC104**, aparell clau del projecte.

Aquest projecte ha proporcionat coneixements en programació orientada a objectes i una visió molt pràctica per a la creació de vehicles autònoms. És molt complet, ja que es toquen diferents àmbits de la carrera tals com, telecomunicacions, electrònica i potència.

Com a punt final, és important comentar, que no ha sigut possible realitzar proves en aigua, a causa de complicacions amb alguns aparells que s'han espatllat.

6.1 Líneas futures de desenvolupament.

Com a projecte futur, seria interessant realitzar un control autònom complet. És a dir, dissenyar un sistema de seguretat encarregat d'evitar qualsevol obstacle en la trajectòria del vaixell, i dissenyar els algorismes de navegació que permetin seguir la trajectòria òptima per tal d'arribar al punt de destí marcat mitjançant l'estació base.

7.- Agraïments

En primer lloc agrair a Spartacus Gomáriz Castro per la confiança dipositada, així com la seva ajuda prestada i per haver proporcionat tots els elements necessaris per la realització d'aquest projecte. En general al departament d'Enginyeria Electrònica per permetre treballar en les instal·lacions del Neàpolis.

A Antonio Galo Ruiz per tota l'ajuda demostrada, i sobretot per ser un company únic. Finalment també agrair a l'Estefania Pérez Ferrer, que gràcies al seu recolzament ha estat possible realitzar aquest projecte.

8.- Bibliografia

- [1] “Unmanned sea surface vehicle having a personal watercraft hull form”.
<http://www.patentstorm.us>
- [2] “Unmanned surface vehicle”. <http://www.en.wikipedia.org>
- [3] A. Barrientos, J. del Cerro, P. Gutiérrez, R. San Martín, A. Martínez, C. Rossi, *Vehículos no tripulados para uso civil. Tecnología y aplicaciones*, Grupo de Robótica y Cibernética, Universidad Politécnica de Madrid
- [4] “Navigation of Unmanned Marine Vehicles in Accordance with the Rules of the Road”
<http://oceanai.mit.edu>
- [5] <http://www.genextech.com>
- [6] <http://www.nauticexpo.es>
- [7] D. Richard Blidberg, *The Development of Autonomous Underwater Vehicles (AUV)*; Proyecto de investigación del Autonomous Undersea Systems Institute, Lee New Hampshire, USA
- [8] “Unmanned Marine Vehicles at CNR-ISSIA” <http://www.nt.ntnu.no>
- [9] Unmanned Sea Surface Vehicle. <http://www-robotics.jpl.nasa.gov>
- [10] Unmanned Sea Surface Vehicle. <http://www.onr.navy.mil>
- [11] <http://www.springerlink.com>
- [12] <http://www.asv.org.uk>
- [13] Transcend,133x CompactFlash Card: <http://www.transcendusa.com>
- [14] PNI, TCM2.6: <http://www.pnicorp.com>
- [15] Wikipedia, NMEA: <http://es.wikipedia.org/wiki/NMEA>
- [16] Wikipedia, Sistema de Posicionamiento Global: <http://es.wikipedia.org/wiki/GPS>
- [17] MAGELLAN, DG14, Reference Manual: <http://www.magprogps.com>
- [18] Hitec RCD, Servos: <http://www.hitecrcd.com/servos>
- [19] Lynxmotion, SSC-32 Ver. 2.0: <http://www.lynxmotion.com/images/data/ssc-32.pdf>
- [20] Wikipedia, Espectro Electromagnético:
http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagn%C3%A9tico
- [21] SATELLINE-1870, Guía del usuario:
http://www.satel.com/brochure/1870_ES_V3_small.pdf
- [22] Wikipedia, Modulación por ancho de pulsos:
http://es.wikipedia.org/wiki/Modulación_por_ancho_de_pulsos
- [23] Westbourne: <http://www.westbourne-model.co.uk>
- [24] Baterías de Lipo, Cargadores y Equilibradores:
http://www.electronicarc.jazztel.es/baterias_de_lipo.htm
- [25] Hitec Catalog: <http://www.hitecrcdgroup.com/HitecCatalog.pdf>
- [26] RCmaterial: <http://www.rcmaterial.com>
- [27] msdm, Visual Studio 2008: <http://msdn.microsoft.com/es-es/library/aa187917.aspx>
- [28] MORNSURN, DC/DC Converter: <http://www.mornsun-power.com>